موســوعـــــة
التأثيرات والظواهر الفيزيائية وتطبيقاتها

شرح مختصر لأكثر من ٢٢٠ من التأثيرات
والظواهر الفيزيائية التي يستند عليها التقدم الحالي

كتاب لا غنى عنه لكل فيزيائي

تأليف
دكتور/ يسري مصطفى
أستاذ فيزياء الجوامد
كلية العلوم
جامعة المنصورة

٢٠١٧

موسوعة التأثيرات الفيزيائية وتطبيقاتها ، تأليف الدكتور / يسري مصطفى

تحتوي هذه الموسوعة على شرح مبسط لأكثـــــر من ٢٢٠ من التأثيرات والظواهر الفيزيــــائية والتي يرتبط بعضها أحياناً بمجال الفلك أو الكيمياء وبعضها يكون مألوفا لكل الفيزيائيين وبعضها يكون حديث ومتخصص بشكل دقيق، تم تزويد الشرح بأكثر من ١٤٠ رســم توضيحي ومخطط بـياني وأحيانا صور تصف التأثير قيد الشرح. تم تقديم التأثيرات المختلفة بشكل مرتب طبقاً للأبجـدية العربية، كما تم تذييل الكتاب بمسرد مرتب طبقـــاً للأبجدية الإنجليزية لتسهيل وصول القارئ إلى العنوان المطلوب ـ

في هذه الموسوعة، تم إتباع أسلوب عرض بسيط وميسر يعتمد على تعريف كل تأثير ومصدر التسمية ونبذة مختصرة عنه ثم بعد ذلك تقديــم المزيد من التفاصيــل حول هذا التأثير من (حيث المنشا والمعالجة النظرية إن وجدت) ـ

تعتبر هذه الموســوعة مرجعاً لا غنى عنه لكل فيزيائي وشكلا جديد من أشكال بنوك المعلومات (في الفيزياء)، كما أنه يسد فراغ كبيــرا بين الكتب باللغة العربية ويمكن القول بأنه أكثر من كتاب في مرجــع واحد . أرجو من الله أن أكون قد وفقت فيما صــبوت إليه ، وأن أكــون قد قدمت يد العون للزمــلاء ،ولأبنائي الطلاب في الجامعات العربية ـ

وعلى الله قصد السبيل



موسوعة

التأثيرات والظواهر الفيزيائية وتطبيقاتها

شرح مختصر لأكثر من 220 من التأثيرات والظواهر الفيزيائية

(التي يستند عليها التقدم الحالي)

كتاب لا غنى عنه لكل فيزيائي

تأليف

دكتور/ يسري مصطفى

أستاذ فيزياء الجوامد

كلية العلوم -جامعة المنصورة

جامعة أم القري، 2017



الإدارة
م.هالة محمود
مدير تنفيذي و إنتاج
م.أمير عبد الوهاب
فريق التصميمات
م.شاهندة عبد الوهاب
م.عادل التوني
الإشراف الأدبي
م.هالة محمود

الطبعة الأولى
الكتاب/
المؤلف/
رقم الأيداع
الترقيم الدولي

العنوان : الإسكندري
ng@gmail.com
صفحتنا على الفيسبوك
النوارس للدعاية والنشر
https://www.facebook.com/groups/245057569171040/?ref=bookmarks

ت/ 01211999089 03/5490911

طبعة أولى 2017

تقديم

في ظل التقدم المتسارع الذي نعيشه الأن، يواجه الإنسان بصفة عامة والإنسان العربي بصفة خاصة تحديات جمة لمواكبة هذا التقدم. فلم يقتصر الأمر على تشعب العلوم وتخصصها فقط بل وصل الأمر أيضا إلى قفزات سريعة متلاحقة في مختلف مجالات العلوم الطبيعية وعلى رأسها الفيزياء. هذا بالإضافة إلى التقدم الهائل في مجال العولمة والذي برغم فوائده الجمة فقد ألقى بظلال الكسل والفتور على مفهوم اللياقة التعليمية (إن صح التعبير). أقصد بمفهوم اللياقة التعليمية، هنا، مقدرة الدارس أو الباحث أو حتى الأستاذ الجامعي على المثابرة والتفاني في تناول المعلومة من المصدر المكتوب، حيث أصبح الجميع لا يطيقون صبراً في البحث والعثور على ضالتهم في العديد من المراجع، بعد أن تعودوا بكبسة ذر على لوحة مفاتيح الحاسب للبحث في الشبكة العنكبوتية (الإنترنت) وتجميع ما يصبون إليه وربما لا يجدون الوقت في تنقيح ما عثروا علية للاستفادة منه. هذه هي سمة العصر الذي نعيش فيه، حيث التنافس الشرس بين المعلومة المرئية والمعلومة المطبوعة. لذلك ولتعظيم الفائدة وجب على العلماء تقديم العلم في ثوب جديد يتلاءم مع السرعة واليسر، ولاسيما وقد تقلص الوقت المخصص للبحث بين أرفف المكتبات تقلصا كبيرا، فقد تعود الجميع البحث عن العلم في شكل كبسولات سهلة التناول.

وكما نعلم، فإن أي علم من العلوم الطبيعية قد بنى على عدد من الظواهر والتأثيرات التي كونت النظريات والمفاهيم المختلفة لهذا العلم. لذلت تعتبر هذه التأثيرات بمثابة العمود الفقري لأي علم وخاصة الفيزياء، ونظرا لكثرتها، لا يوجد من يلم بها جميعاً لتعدد تخصصات ومجالات الفيزياء. ونظرا لأن للتأثيرات والظواهر الفيزيائية الفضل الأول في التقدم البشرى الذي نعيشه اليوم. لذلك، مراراً وتكراراً ما راودتني هذه الفكرة لتوفير ما يحتاجه الفيزيائي في المجالات المختلفة في شكل ميسر ومبسط وجذاب يمكن الوصول إليه في أقل وقت، لذلك جاء موضوع هذه الموسوعة.

تحتوي هذه الموسوعة على شرح مبسط لأكثر من 220 من التأثيرات والظواهر الفيزيائية في مجال الفيزياء والتي قد يرتبط بعضها أحياناً بمجال الفلك أو الكيمياء وقد يكون بعضها مألوفا لنا وقد يكون بعضها حديث ومتخصص بشكل دقيق وقد يغيب عن البعض منا الكثير منها. لذلك فإن وجود مثل هذا العدد الكبير من التأثيرات والظواهر الفيزيائية في كتاب واحد يكون ذي منفعة عظيمة ليس فقط بالنسبة للمتخصصين في الفيزياء ولكن أيضاً لغير المتخصصين ولطلبة كليات العلوم والهندسة والفلك.

تم تزويد الشرح بأكثر من 140 رسم توضيحي ومخطط بياني وأحيانا صور تصف التأثير قيد الشرح. تم تقديم التأثيرات المختلفة بشكل مرتب طبقاً للأبجدية العربية، كما تم تذييل الموسوعة بمسرد مرتب طبقاً للأبجدية الإنجليزية لتسهيل وصول القارئ إلى العنوان المطلوب.

في هذه الموسوعة، تم إتباع أسلوب عرض بسيط وميسر يعتمد على تعريف كل تأثير ومصدر التسمية ونبذة مختصرة عنه ثم بعد ذلك تقديم المزيد من التفاصيل حول هذا التأثير من حيث المنشأ والمعالجة النظرية (إن وجدت) وفى النهاية الإشارة إلى التطبيقات التكنولوجية لهذا التأثير لتعظيم الاستفادة منه. كما تم التنويه في نهاية كل تأثير بالمواضيع ذات الصلة الوثيقة للرجوع إليها وتزويد القارئ ببعض المراجع المفيدة في أخر الكتاب. في النهاية، أود الإشارة إلى أن بعض التأثيرات قد تكون متخصصة جداً ولا تتوفر لدي مراجع فيها ففضلت ذكرها بدلاً من إغفالها.

تعتبر هذه الموسوعة مرجعاً لا غنى عنه لكل فيزيائي وشكلا جديدا من أشكال بنوك المعلومات (في مجال الفيزياء)، كما أنها تسد فراغا كبيرا بين الكتب باللغة العربية ويمكن القول بأنها أكثر من كتاب في مرجع واحد. أرجو من الله أن أكون قد وفقت فيما صبوت إلية وأن أكون قد قدمت يد العون للزملاء ولأبنائي الطلاب في الجامعات العربية، وعلى الله قصد السبيل.

المؤلف

فهرس المحتويات
مرتب طبقا للأبجدية العربية

تأثير الشواش (الهيولية)	1
تأثير آبني	5
تأثير إتنجهاوزن	5
تأثير إديسون	5
تأثير إزاحة (سحب) الضوء	8
تأثير أسكاريان	9
تأثير إفرشيد	10
تأثير الأرض	10
تأثير الإزاحة الحمراء الجذبية	12
تأثير الاستقطاب	14
تأثير الاضمحلال	16
تأثير الأكورديون	17
تأثير الانبعاث الأيوني الحراري	17
تأثير الانعكاس	17
تأثير الانكسار الفوتونى	21
تأثير البارامغناطيسية الفائقة	22
تأثير الباكتور المتعدد	24
التأثير البخارى	25
تأثير البطارية البطيئة	26
تأثير البيت الزجاجي	26
تأثير التتابع	29
تأثير التجسمية	29
تأثير التخثر المغناطيسي	31

تأثير التخلفية	32
تأثير التدفق المستعرض	36
تأثير التقارب	36
تأثير التكهرب بالاحتكاك	39
تأثير التموج (اللمعان)	41
تأثير التنفق	43
تأثير التوهجات الشمسية	48
تأثير الجسم العائم	50
التأثير الحثي	51
تأثير الحجب	53
تأثير الحذافة	54
تأثير حرج	54
تأثير الحركية التلقائية	54
التأثير الحروميكانيكى	56
تأثير الذاكرة	58
تأثير الرفع	59
تأثير الزوج الخامد	60
تأثير السحابة الإلكترونية	61
تأثير السطح الحر	61
تأثير السماء السائلة	62
التأثير السمعبصرى	63
تأثير الشعرية	64
تأثير الشيريو	67
تأثير الصوت ثلاثى الأبعاد	68
تأثير الضوء الوامض	70
التأثير الضوئحراري	71
التأثير الضوئفولتي	72
تأثير الفراشة	75
تأثير القطرة السوداء	78

تأثير القنص	79
التأثير الكهروحراري	79
التأثير الكهروحركى	79
التأثير الكهروسعرى	80
التأثير الكهروضغطى	81
التأثير الكهروضوئي	82
التأثير الكهرونارى	84
تأثير اللوتس	87
تأثير المادة	88
تأثير المحول	89
تأثير المرونة-الضوئية	90
تأثير المشاهد	93
التأثير المغنيطوسعري	95
التأثير المغنيطوضوئي	98
تأثير المقاومة الضغطية	100
تأثير المقلاع	103
تأثير المنجنيق	106
تأثير المنحدر	107
تأثير المنطقة- D	108
تأثير الموجات الميكرونية اللا-حرارية	108
تأثير النظير المشع	109
تأثير الوفرة الجليدى	110
تأثير إلياس	112
تأثير أمبيرت فيدوروف	114
تأثير أهارونوف- بوم	114
تأثير أوتفوس	117
تأثير أوجيه	121
تأثير أوفرهاوزر	124
تأثير أوكوروكوف	125

تأثير إيرلى	125
تأثير آينشتاين	126
تأثير باركهاوزن	126
تأثير بارنيت	128
تأثير باشين-باك	128
تأثير باولي	129
تأثير بايني	130
تأثير بردجمان	130
تأثير برنولي	130
تأثير بلتييه	134
تأثير بوركينجي	135
تأثير بوكليت	136
تأثير بولفريتش	138
تأثير بيتكايو	139
تأثير بيزولد	140
تأثير تأخير شابيرو	140
تأثير تحت اللون	142
تأثير تراكم الهواء	143
تأثير تسخين جول	144
تأثير تعمق اللون	145
تأثير تيندال	145
تأثير جارشيليز	146
تأثير جاما	146
تأثير جان - تيلير	146
تأثير جلاسير	147
تأثير جوزيفسن	148
تأثير جوس - هانشن	150
تأثير جول-طومسون	150
تأثير جيبس-دونان	152

تأثير خليط الكتابة 153
تأثير دكت 154
تأثير دوبلير 154
تأثير دوبلير المعكوس 156
تأثير دوبلير النسبي 156
تأثير دى هاس تشوبنكوف 161
تأثير ديلنجير 162
تأثير ديمبر 162
تأثير رامان 163
تأثير رامساور- تاونسند 168
تأثير زيمان 169
تأثير زيمان الشاذ 172
تأثير زينو الكمى 173
تأثير ساتشس-وولف 174
تأثير ساجناك 174
تأثير ستارك 178
تأثير سحب - الإطار 179
تأثير سيبك 181
تأثير شارنهورست 182
تأثير شليرين 183
تأثير شوتكى 184
تأثير صوتى 185
تأثير ضغط البلازما 185
تأثير طومسون 187
تأثير عمق السطح 189
تأثير فاراداي 191
تأثير فاراداي العكسى 192
تأثير فرانز-كيلديش 193
تأثير فريي 194

تأثير فنتوري	196
تأثير فوجيوارا	196
تأثير فولتا	197
تأثير فويجت	198
تأثير فيجنر	198
تأثير فيلارى	200
تأثير كارثة تشيرنوبل	200
تأثير كازيمير	205
تأثير كاوتسكى	209
تأثير كريستوفيلوس	209
تأثير كلاندار	210
تأثير كواندا	210
تأثير كوتون	212
تأثير كوربينو	212
تأثير كوريااليس	212
تأثير كوزاى	215
تأثير كومبتون	216
تأثير كومبتون المعكوس	218
تأثير كوندو	219
تأثير كير	221
تأثير كير الضوئى	221
تأثير كير الكهروضوئي	223
تأثير كير المغنيطوضوئي	225
تأثير كيركندال	225
تأثير كيرنكوف	226
تأثير لارسين	230
تأثير لازاروس	230
تأثير ليدنفورست	231
تأثير ماتيوكي	233

تأثير مارانجونى	233
تأثير ماغنس	233
تأثير مكولويغ	235
تأثير مولنس	236
تأثير ميتنير- هوبفيلد	237
تأثير ميزنر	237
تأثير ميللر	239
تأثير نيرنست	240
تأثير هوشنسن	242
تأثير هوكنج	243
تأثير هول	247
تأثير هول الحراري	250
تأثير هول الغزلي	251
تأثير هول الكمي	251
تأثير هولتزمان	252
تأثير هيرتز	252
تأثير ودوارد	252
تأثير وولف	253
تأثير ويجاند	253
تأثير الإثارة	254
تأثير ويسنبيرغ	255
تأثير ويلسون	255
تأثير وينزلو	256
تأثير ياروفسكى	257
تأثير يموف	258
تأثير ينروه	259
تأثيرات الضوضاء الصحية	261
الجرعة المؤثرة	263
السكويد	263

العدد الذرى الفعال 266
الفعل المؤثر 268
القدرة المنبعثة الفعالة 270
الكتلة الفعالة 272
تأثير LP 274
تأثير QMR لاستقطاب الضوء 275
تأثير SZ 275
تأثير YORP 278
مسرد مرتب طبقاً لأبجدية الإنجليزية 279
بعض المراجع المفيدة 285
كتب للمؤلف 287

تأثير الشواش (الهيولية) CHAOS

يعتبر علم الشواش فرعا من علوم الرياضيات البحتة، واسمه الرسمي "علم الديناميكا اللاخطية، إذ في هذا العلم يتم تدريس الظواهر الديناميكية اللاخطية، في أي فرع علمي توجد فيه. بالرغم من أن المصطلح اللاتيني واحد إلا انه شاع أخيرا مصطلح الهيولية أكثر من الشواش.

لا يكاد يخلو فرع من فروع العلم من تسلل الاضطراب الديناميكي إلى ظواهره، وعلم الهيولية هو العلم الذي يجمع كل هذه الظواهر في قواعد عامة، والتي أتضح أنها بسيطة بدرجة تدعو للدهشة. فقد ثبت أن الاضطرابات التي تحدث في قنوات الاتصالات وتسبب التشويش فيها لا تختلف كثيرا عن الاضطرابات التي تصيب القلب البشري وتؤدي إلى توقفه الفجائي، ولا عن الاضطرابات المالية التي تحدث في البورصات وتسبب انهيارها أو تغير الطقس فجأة مسببا كوارث لا طاقة لنا بها. إن الشواش هو القاسم المشترك في كل العلوم.

إن أفضل طريقة لعرض ظاهرة الهيولية هي توضيح ما هو غير-هيولي. فلو أننا أردنا أن نتوقع حالة نظام ما نجدها إما أن تكون:

- حالة ثابتة، كأن يكون الجسم ساكنا أو متحركا بسرعة ثابتة في خط مستقيم، وهي حالة من السهل وصفها رياضيا، أو تكون..
- حالة دورية، كحركة البندول المنتظمة، وهي حالة استقرار كالحالة السابقة، وبالتالي من السهل وصفها رياضيا، أو تكون
- حالة عشوائية، كحركة شخص ثمل في ميدان، وهي حركة لا تمثل استقرارا، وبالتالي لا يمكن وصفها رياضيا، ولا تعالج هذه الظواهر إلا من خلال الوسائل الإحصائية.

إن التعريف الدقيق لظاهرة الهيولية هو عدم توقع ما يحدث في النظام بين لحظة وأخرى وهذا لا يعني أن النظام يكون في حالة فوضى أو عشوائية. تتميز الظواهر العشوائية عن الهيولية بأن الأخيرة تخضع لقوانين الطبيعة العادية، بينما لا تخضع الظواهر العشوائية إلا لقوانين الصدفة والاحتمالات. أما بالنسبة للظواهر الطبيعية كتشتت دخان متصاعد، أو اضطراب مياه نهر متدفق، فقد اعتبر مثل ذلك على مدى القرون من نوع الحركات العشوائية ينتمي للنوع الثالث وهذا غير هيولى أيضا.

من المهم جداً إزالة اللبس الذي شاع بين العشوائية والهيولية. وكما ذكرنا من قبل أن

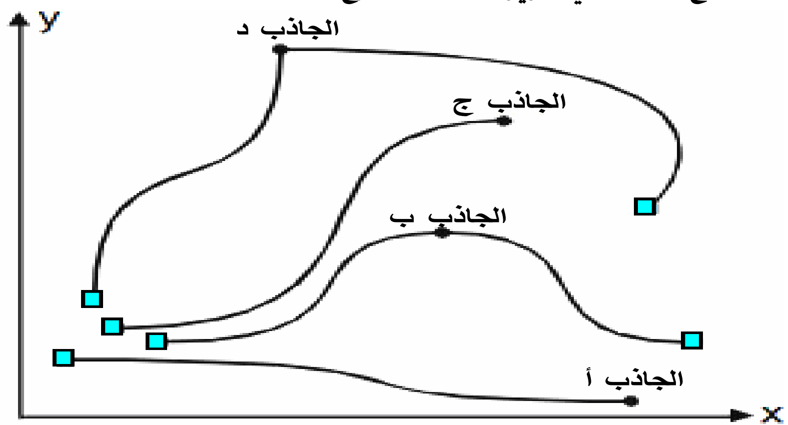
الظواهر العشوائية تختلف عن الهيولية بأن الأخيرة تخضع لقوانين الطبيعة العادية، بينما لا تخضع الظواهر العشوائية إلا لقوانين الصدفة والاحتمالات. ويترتب على هذا الفرق مثلا أنه بينما تدور الظواهر العشوائية الصرفة في الغالب حول قيم متوسطة، فإن الظواهر الهيولية ليست لها قيم متوسطة، فهي مثلا لا تخضع لقانون التوزيع الطبيعي، أو منحنى جاوس الذي يميز التصرفات العشوائية.

من جهة أخرى، فإنه لو شئت أن ترسم العلاقة بين المتغيرات في تصرف عشوائي، فلن تحصل إلا على نقاط مبعثرة لا ترتبط فيما بينها، ولكن بالنسبة للتصرفات الهيولية تجد أن النقاط قد انحصرت في حيز محدود لا تتجاوزه، وهو أقوى ترجمة لكون هذه التصرفات تخضع لقوانين محددة، بحيث ترسم علاقاتها مسارات معقدة الشكل، تمثل لب التحليل الهيولي. ومن هذا المنطلق يحلو للبعض وصف الهيولية بأنها "عدم الانتظام المحكوم ".

تتميز الظواهر التي تتعرض للحالة الهيولية بما يسمى التغذية الخلفية (العكسية). والتغذية الخلفية ظاهرة شائعة في الطبيعة، مثال ذلك أن تتصور حركة جسم تحت تأثير القوة المحركة والاحتكاك، فالسرعة تعتمد على فرق القوتين. ولكن ظاهرة التغذية الخلفية تظهر حينما يعتمد الاحتكاك بدوره على السرعة. ولو تعرض بندول بسيط لهذه الظاهرة فإنه عند حد معين من درجة الاعتماد هذا سوف ندهش على الفور بحركاته التي سوف نظنها عشوائية، إلى أن نتفهم أسس التحليل الهيولي. هذا و يتم التعبير عن التغذية الخلفية أيضا بمصطلح "الاعتمادية المتبادلة "، وتكون صورتها في التطبيق الرياضي أن يكون مخرجات خطوة معينة من تطبيق معادلة ما هي مدخلات الخطوة التالية، الأمر الذى معه يمكن أن تؤدى الفروق الصغيرة في الحالة الابتدائية إلى أحداث نهائية مختلفة بشكل كبير (انظر الشكل **1**).

إن ما يميز الظواهر الطبيعية في الواقع هو أنها تقوم بتكرار التغذية الخلفية لعددا هائلا من المرات. يطلق على هذه التكرارية مصطلح "المعاودة "، وهي السبب في عدم اكتشاف ظاهرة الهيولية إلا بعد اختراع الحاسوب، فهو وحده القادر على إجراء الكم الهائل من التكرار إلى أن تبدأ حالة الهيولية في الظهور. تسبب هذه الاعتمادية المتبادلة في معادلات الهيولية إلى أن تكون هذه المعادلات "لاخطية "، وهو أهم خاصة تميز هذه المعادلات، وهو سبب عزوف العلم عن الخوض فيها طوال القرون الماضية، حيث تعامل العلماء على الدوام مع المعادلات اللاخطية بتقريبها إلى أقرب نظام خطي، نتيجة عدم الإلمام

بكيفية التعامل مع مثل هذا النوع من العلاقات. ينبع من الصورة اللاخطية للمعادلات الهيولية ظاهرة يطلق عليها، على سبيل التندر، "ظاهرة الفراشة"، وعلميا "الحساسية المرهفة للظروف الأولية". فالعلاقات اللاخطية تتميز بأن أدنى تغير في المعاملات يمكن أن ينتج عنه تأثير غاية في الضخامة، حتى أنه يقال إن رفرفة فراشة بجناحيها في بكين لا يستبعد أن تنتج عاصفة في نيويورك بعد أسبوع.



الشكل 1: مخطط توضيحي ثنائي البعد يبين كيف أن الفروق الصغيرة في الحالة الابتدائية تؤدى إلى أحداث نهائية مختلفة بشكل كبير.

أما من جهة تمثيل العلاقات بين المتغيرات، كالسرعة مقابل الوضع مثلا في حركة جسم ما، نجد أن هذا التمثيل سيأخذ الصور التالية للمثال الذي ضربناه بالاحتمالات المختلفة للحركة (يطلق على هذا التمثيل "فضاء الطور **phase space**"):

- النقطة تمثل حالة السكون.
- الخط المستقيم الموازي للمحور يعبر عن المسافة في حركة السرعة المنتظمة مثلا.
- المنحنى المغلق يعبر عن حالة الحركة الترددية.
- النقاط العشوائية التي لا رابط بينها تعبر عن حالة التحرك العشوائي، وهي ليست حالة استقرار.

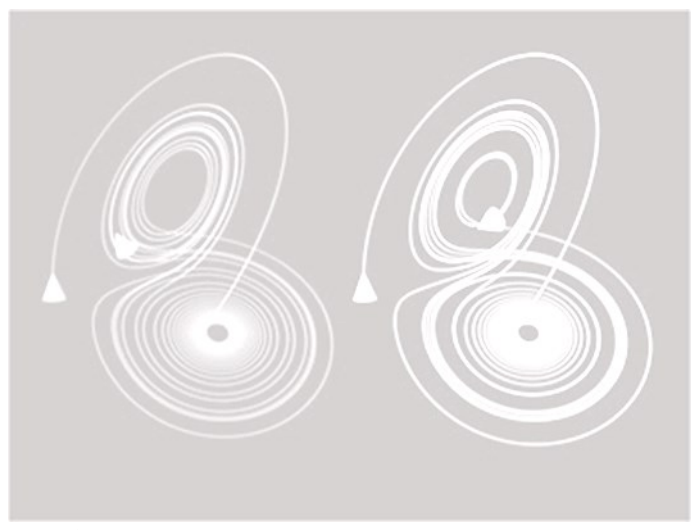
إن الشكل الناتج يكون مسارا متصلا له خصائص معينة، نعرضها على الوجه الآتي:-

- المسار المعبر عن فضاء الطور للحالة الهيولية لا يتقاطع مع نفسه إطلاقا، فهو لو فعل لتحولت الحركة إلى حركة دورية.
- المسار اللانهائي الطول، طالما أنه لن يحدث ينغلق على نفسه في مسار مغلق.
- المسار المحدود في حيز محدود يكون كما قدمنا سابقا.

وقد نظر العلماء إلى أشكال فضاء الطور، فتصوروا أنها تخضع لشيء تخيلي يجذبها إلى أن تتشكل بالصورة التي هي عليها، حالة النقطة أو الشكل المغلق، ومن ثم كان مصطلح "الجاذب ". وبداهة فإن الحالة العشوائية لا جاذب لها. ولما كان فضاء الطور في حالة الهيولية تتمثل في شكل خصائصه بمثل هذه الغرابة، لانهائي الطول محصور في حيز محدود، ولا يتقاطع مع نفسه مهما طال الزمن، فقد أطلق عليه "الجاذب الغريب ". وهو مفهوم ركيزي أصبح علما شامخا من مصطلحات علم الهيولية.

يبين الشكل **2** قطعتين من التطور الثلاثي الأبعاد لمسارين اثنين (أحدهما أزرق (على اليسار)، و الآخر أصفر(على اليمين)) لنفس الفترة الزمنية لبدء جاذب لورنيز (**Lorenz attractor**) عند نقطتين أوليتين تختلف فقط اختلاف طفيف مقداره **10-5** ثانية في الاحداثي السيني.

احتار العلماء حول الجاذب الغريب، كيف يصفونه وليس تحت أيديهم إلا الهندسة الإقليدية، وهي قاصرة تماما عن وصف مثل هذه الأشكال، إلى أن وضعت الهندسة الكسرية على يد بنوا ماندلبرو. فالشكل الكسري هو الذي يتميز فعلا بالخصائص التي ذكرناها لهذا الجاذب.



الشكل **2**: مسارين لجاذب لورنيز بينهما فترة زمنية صغيرة جداً .

بالرغم من ان أسس هذا العلم تنسب لعالم الطبيعة الجوية إدوارد لورنتز، من الصعب أن نرجع الفضل له او لشخص بمفرده، فقد تضافرت جهود كبيرة في هذا الشرف من علماء في كافة فروع العلم المختلفة مثل ماندلبرو، واضع الهندسة الكسرية، روبرت ماي عالم البيولوجيا الذي قام بدراسة معادلة الفروق ومنها اكتشف ظاهرة التفرع الثنائي،

ميشيل فاينجنباوم الذي اكتشف مبدأ العمومية ووضع أشكال معروفة باسمه لتصوير تحول النظام إلى الهيولية، و روبرت شو الذي أسس جماعة عرفت باسم "جماعة النظم الديناميكية" في جامعة سانت كروز والتي كان لها فضل كبير في تأسيس هذا العلم.

تأثير آبني Abney Effect

إن تأثير آبني هو أحد الظواهر العديدة الموثقة التى تتعلق بإدراك اللون. بشكل محدد، يتعلق تأثير آبني بالتغيير الظاهرى في الشكل الذي يأخذه المصدر الضوئى عند إضافة ضوء أبيض. بمعنى أن الضوء الأزرق يبدو كما لو أصبح أكثر حمرة عند إضافة الضوء الأبيض إليه. للمزيد من التفاصيل أرجع إلى: تأثير بيزولد - برووك، تأثير هنت، تأثير بوركينجي ، وتأثير ستيفينز.

تأثير إتنجهاوزن Ettinghausen effect

إن تأثير إتنجهاوزن هو الظاهرة الكهروحرارية (أو المغنيطوحرارية) التى تؤثر في التيار الكهربي في موصل في وجود المجال المغناطيسي. نتيجة هذه الظاهرة هي توليد فرق جهد عمودى على إتجاه كل من المجال الكهربي والتيار.
بالتناوب، يتولد ميل في درجة الحرارة. يتحدد هذا التأثير بمعامل إيتنجهاوزن، $|P|$ والذي يعرف بالعلاقة،

$$|P| = \frac{-1/(I_y B_Z}{dT/dx}$$

حيث dT/dx هو الميل الحراري الذى ينتج من المركبة-y (I_y) للفيض الكهربي و المركبة z (B_Z) للمجال المغناطيسي. يعرف التأثير العكسي لتأثير إتنجهاوزن بتأثير نيرنست.

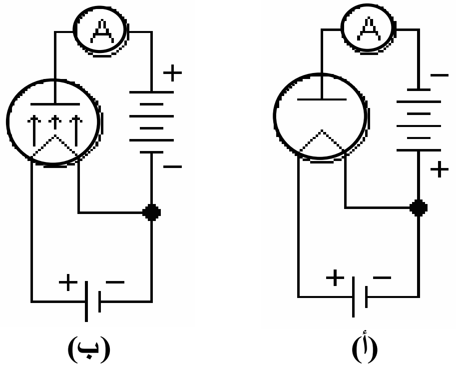
تأثير إديسون Edison Effect

تأثير إديسون هو المسمى القديم للانبعاث الأيوني الحراري، وهو عبارة عن تدفق الجسيمات المشحونة (التى تسمى أيونات حرارية) من سطح المعدن المشحون أو من سطح أكسيد المعدن، بسبب تغلب الطاقة الاهتزازية الحرارية على القوى الكهروستاتيكية التى تمسك الإلكترونات على السطح. تكون شحنة الأيونات الحرارية (سواء كانت موجبة أو سالبة) تماما مثل شحنة المعدن/الأكسيد المعدني. يزيد هذا

التأثير بشكل مثير مع ارتفاع درجة الحرارة (**1000-3000** كلفن).

من الناحية التاريخية، تم تسجيل هذه الظاهرة لأول مرة في المراجع العلمية عام **1873**م بواسطة الفيزيائي فريدريك غوثري في إنجلترا. أثناء إنجاز عمل على الأجسام المشحونة، إكتشف غوثري أن كرة الحديد الساخنة لدرجة الاحمرار تفقد شحنتها (تفرغ الايونات إلى الفراغ). كما وجد أيضاً أن هذا لا يحدث عندما تكون الكرة مشحونة بشحنة سالبة. يوجد مساهمون آخرون في اكتشاف هذه الظاهرة منهم هيتورف، وجولدشتاين و إلستر و جيبيتيل.
تم اكتشاف هذا التأثير للمرة الثانية بالصدفة بواسطة العالم توماس إديسون في **13** فبراير/ شباط عام **1880**، عندما كان يحاول اكتشاف سبب كسر فتائل المصباح والتسويد غير-المتساوي المتكون في المصابيح المتوهجة.

قام إديسون ببناء انتفاخ زجاجي سطحه الداخلي مغطى بورق قصدير معدني، وقام بتوصيل ورق القصدير إلى فتيلة المصباح من خلال جلفانومتر. عند إعطاء ورق القصدير (تعمل كمصعد) شحنة أكثر سلبية من الفتيلة وجد أن التيار لا يمر بين ورق القصدير والفتيلة لأن ورق القصدير البارد يبعث بضعة إلكترونات فقط، انظر الشكل **3**(أ). عند إعطاء ورق القصدير شحنة أكثر إيجابية من الفتيلة، ينبعث العديد من الإلكترونات من الفتيلة الساخنة وتنجذب نحو ورق القصدير، مسببة مرور التيار، الشكل **3**(ب).



الشكل **3**: تأثير إديسون في أنبوبة دايود. (أ) لا يمر تيار إلكترونات عندما يكون المصعد سالب ، (ب) يمر التيار عندما يكون المصعد موجب. تشير الاسهم إلى إتجاه الإلكترونات وليس التيار المعتاد.

سمى هذا التدفق الأحادي الاتجاه للتيار بتأثير إديسون (بالرغم من أن التعبير يستعمل من حين لآخر للإشارة إلى الانبعاث الأيوني الحراري نفسه). لم يجد إديسون أى

استعمال لهذا التأثير، وبالرغم من أنه قام بتسجيله كبراءة اختراع في عام **1883**، إلا أنه لم يقم بدراسته مرة أخرى.

إكتشف الفيزيائي البريطاني جون أمبروز فليمنج، الذى كان يعمل لدى شركة "البرق اللاسلكي البريطانية"، أن تأثير إديسون يمكن أن يستعمل في إستكتشاف موجات الراديو. إستمر فليمنج في تطوير إنبوب الدايود المفرغ وسجل براءة اختراعه في **16**نوفمبر/تشرين الثاني عام **1904**م.

يمكن تشكيل دايود الانبعاث الأيوني الحراري كأداة تقوم بتحويل فرق الحرارة إلى الطاقة الكهربية بشكل مباشر بدون أجزاء متحركة (محول أيونى حراري (ثرميوني)، وهو نوع من الآلات الحرارية).

عمل أوين ويليانز ريتشاردس على موضوع الانبعاث الأيوني الحراري و نال جائزة نوبل في عام **1928** لعمله على هذه الظاهرة وخصوصا لاكتشاف القانون المسمى على اسمه. فيما يلى نلقى مزيد من الضوء على قانون ريتشاردسن للانبعاث الأيوني الحراري.

في أي معدن، يوجد إلكترون واحد أو أثنين من الإلكترونات الحرة لكل ذرة والتي تكون قادرة على الانتقال من ذرة إلى أخرى. تسمى هذه الإلكترونات أحيانا باسم "بحر الإلكترونات". تتبع سرعة الإلكترونات الحرة التوزيع الإحصائي، بدلا من التوزيع الموحد، ومن حين لآخر يكون للإلكترون سرعة كفاية تمكنه من مغادرة المعدن دون أن ينجذب إلى المعدن مرة أخرى. تسمى أقل كمية طاقة يحتاجها الإلكترون ليترك السطح بدالة الشغل. تتغير دالة الشغل من معدن لأخر. عند طلاء سطح المعدن بطبقة رقيقة من الأكسيد في الأنابيب المفرغة تنخفض دالة الشغل، حيث تكون هذه الطبقة أسهل لهروب الإلكترونات وترك سطح الأكسيد.

يسمى قانون ريتشاردسن أيضا بمعادلة ريتشاردسن-دوشمان والتي نشرت لأول مرة بواسطة ريتشاردسن عام **1901**م. تنص هذه المعادلة على أن كثافة التيار المنبعث J أمبير\م^2 ترتبط بدرجة الحرارة T بالمعادلة $J = AT^2 \exp(-W/kT)$، حيث T درجة حرارة المعدن بالكلفن، W دالة الشغل للمعدن، k ثابت بولتزمان. يسمى ثابت التناسب A بثابت ريتشاردسن، ويعطى بالعلاقة،

$$A = \frac{4\pi mk^2 e}{h^3} = 1.20173 \times 10^6 \ \mathrm{Am^{-2}K^{-2}}$$

حيث m و e كتلة وشحنة الإلكترون، و h ثابت بلانك. وبسبب الدالة الآسية، فإن

التيار يزداد بسرعة مع درجة الحرارة عندما تكون T أقل من W. عند درجات الحرارة الأعلى، تكون الزيادة دالة في مكعب درجة الحرارة . تعتبر معادلات الانبعاث الأيوني الحراري مهمة جداً في مجال الإلكترونيات.

تأثير إزاحة (سحب) الضوء Light dragging effect

في الفيزياء، توجد عدة حالات يقال فيها أن حركة المادة قد تسحب الضوء. في النموذج المبسط للنسبية الخاصة، يفترض أن تأثيرات سحب الضوء لا يحدث وأن سرعة الضوء لا تعتمد على سرعة حركة الجسم. وبالرغم من أن النظرية النسبية الخاصة لا تدعي التعامل مع تأثيرات "الجسيمات المادية" أو مع التأثيرات الجذبية، أو إعطاء الوصف النسبي الكامل لتأثيرات التعجيل، إلا أنه عند وضع فرضيات أكثر واقعية (مثل أن تكون الأجسام حقيقية أى مصنوعة من الدقائق المادية، و/ أو أن يكون للأجسام سمات جذبية)، فإن الصفات الناتجة تتضمن سحب الضوء كتأثير. فيما يلى نلقى مزيداً من الضوء على عدد من هذه التأثيرات التى تسحب الضوء والتي تعتمد على السرعة، أو على العجلة، أو على الدوران.

تأثيرات سحب الضوء التى تعتمد على السرعة: من المعروف أن الضوء المتحرك خلال الهيكل البنائى للجسم يتحرك في إتجاه حركة الجسم بشكل أسرع منه في الاتجاه المضاد (تجربة فيزو). تم توقع هذا التأثير أصلا بواسطة نظريات التأثير المسحوب (ارجع إلى فرينيل على سبيل المثال). في عام **1971** تم ملاحظة أيضاً أن الضوء المصوب بشكل مستعرض خلال الجسم الشفاف ينحرف في إتجاه حركة الجسم .

بالنسبة لمصدر الجاذبية فإنه يمكن اعتبار مجال الجاذبية كامتداد للجسم، وإنه يحمل قصور ذاتي وزخم. بما أن التصادم المباشر مع جسم متحرك يمكن أن يمنح زخم إلى الجسيم الخارجي فإن التفاعل مع مجال جاذبية الجسم يجب أن يسمح "بتبادل الزخم" وبالتالي فإن مجال الجاذبية المتحرك يسحب الضوء والمادة. تم استخدام هذا التأثير العام بواسطة وكالة ناسا لتعجيل المجسات الفضائية باستخدام تأثير مقلاع الجاذبية.

في حالة الدوران تحت النسبية العامة (كما سوف يتضح لاحقاً)، يكون لدينا أيضاً تأثير سحب يعتمد على السرعة الظاهرية، حيث يمكن وصف ميل الجسم الدوار لسحب الأشياء حوله بالقول بأن الجزء المتراجع من الجسم يسحب بقوة أكبر من الجزء المتقدم.

تأثيرات تعتمد على العجلة: في النسبية العامة، يتناسب مقدار سحب الضوء خطياً مع عجلة الجسم. ارجع إلى سحب الإطار.
تـأثيرات سحب - الـدوران: في النسـبية العامـة، يعطى الـدوران للجسـم قـوة تجـاذب إضافية نتيجة طاقة حركته، وينجذب الضوء حوله أيضاً بواسطة الدوران (ارجع إلى تأثير عدسة - سحب الإطار).

تأثير أسكاريان Askaryan effect

يصف تأثير أسكاريان ظاهرة مشابهة لتأثير كيرنكوف، حيث ينتج الجسيم الذى يتحرك بسرعة أسرع من سرعة الضوء في وسط كثيف شفاف بالنسبة للموجات الراديوية (مثل الملح، أو ثلج أو الصخور المغطية للقمر) وابل من الجزيئات المشحونة الثانوية الـذي يحتوي على شحنة بشكل غير متجانس، الأمر الـذى يبعث مخروط الإشعاع المتوائم في مدى موجات المايكرويف أو الموجات الراديوية من الطيف الكهرومغناطيسي. حتى الآن، تم ملاحظة هذا التأثير في رمل السيليكا، وفي الملح الصخري، و في الثلج. يعتبر هـذا التـأثير ذو أهميـة كبيرة في اسـتعمال الكتلـة الماديـة في رصـد والكشـف عـن النيوترينوات ذات الطاقة فوق العالية. يسمى هذا التأثير بأسم الفيزيائي الذى إفترضة وهو جيوجن أسكاريان (1928-1997). وفيما يلى نلقى الضوء على التجربة الرائدة التى ساعدت في الكشف عن هذا التأثير.

يشير الاختصار ANITA إلى الهوائي العابر المندفع القطبي (Antarctic Impulsive Transient Antenna) الذى تم استخدامه في هذه التجربة. إن تجربة ANITA هي التجربة الأولى التى تم تنفيذها للتعرف على النيوترينوات ذات الطاقة العالية المتكونة بالتصادم بين الأشعة الكونية و فوتونات موجات الميكرويف الكونية التى تتخلل الكون. يعتبر الكـون مصـدر للنيوترينـوات، وهـذا يخلـق فرصـة لدراسـة قـوانين فيزيـاء الطاقـة العالية.

تستغل هذه التجربة تأثير أسكاريان. عند هذه الطاقات، من الممكن أن تولد تصادمات النيوترينوات مع المادة ثقوب سوداء دقيقة، أو تظهر علامات غريبة أخرى للنظريات التي تحـاول توحيـد كل قـوى الطبيعـة. إن الأجهـزة المحمولـة بمنطـاد سـتدور حـول القـارة القطبية الجنوبية على ارتفـاع 35 كم تقريباً، وتقـوم بمسح المسـاحة الواسـعة للـثلج، للبحــث عــن نبضــات واضــحة مــن الإشــعاع الراديــو المتولــد بواســطة تصــادمات

النيوترينوات. تم اختبار هذا المشروع ابتداء من يونيو/حزيران **2006** في مركز المعجل الخطى.

تأثير إفرشيد Evershed effect

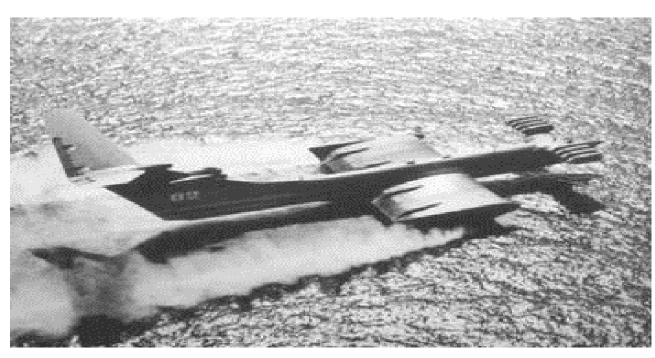
سمى تأثير إفرشيد على اسم الفلكي الإنجليزي جون إفرشيد. هذا التأثير هو التدفق القطرى للغاز عبر سطح الكرة الضوئية (**photospheric**) للظل الناقص للتوهجات الشمسية من الحدود الداخلية مع سوداء الظل (الأمبرا، **umbra**) نحو الحافة الخارجية.

تتفاوت سرعة التدفق من **1** كم/ ثانية تقريباً عند الحدود بين سويداء الظل والظل الناقص إلى قيمة عظمى حول **2** كم/ث عند منتصف الظل الناقص وتهبط السرعة إلى صفر عند الحافة الخارجية للظل الناقص. إكتشف إفرشيد هذه الظاهرة لأول مرة في يناير/ كانون الثاني عام **1909**م، إثناء عمله في مرصد كوداياكنال الشمسي في الهند، عندما وجد أن الخطوط الطيفية للبقع الشمسية تظهر تأثير دوبلير.

تأثير الأرض Ground effect

يشير تعبير تأثير الأرض إلى الزيادة في الارتفاع التى تواجها الطائرة عندما تتحرك مقتربة من سطح الأرض أو من أي سطح مستوي أخر (مثل البحر) بمسافة مقدارها ربع طول الجناح. يعتبر هذا التأثير مهما في مجال الطيران المنخفض جداً وأثناء الهبوط والإقلاع حيث تعانى الطائرة من قوة رفع أضافية تجعلها تلامس الأرض في نقطة ما بعد النقطة المحددة لها مما يسبب الكثير من الحوادث.

بالرغم من أن تأثير الأرض من الممكن أن يمثل مصدر خطر للطيارين عديموا الخبرة الذين لم يتعودوا على تصحيحه في أسلوب الهبوط، إلا أنه يمكن استعماله أيضاً لتحسين الأداء وتوفير الوقود بتصميم أنواع خاصة من الطائرات تستفيد من هذا التأثير تسمى طائرات تأثير الأرض (**GEV**) وهى طائرات أو مركبات فضائية مصغرة الأجنحة. كان الإتحاد السوفيتي اول الدول التى صنعت طائرة تعمل بهذا التأثير وتسمى طائرة الإكرانو، انظر الشكل **4**. تستخدم هذه التسمية الآن بشكل شائع لوصف هذا النوع من الطائرات والتي تستفيد من تأثير الأرض بعمل أنفاق هوائية على الأجنحة وفي مقدمة الطائرة.



الشكل **4**: منظر للطائرة الروسية (الإكرانو) ذات التأثير الأرضي تطير على صفحة الماء.

يتم تصميم شكل الأجنحة للحصول على قوة رفع للطائرة وذلك من خلال توليد منطقة ضغط عالى أسفل الجناح ومنطقة ضغط منخفض فوق الجناح. بما أن ضغط الهواء تحت الجناح يكون أعلى نسبياً، فإن الهواء يميل إلى يتدفق إلى الخارج من المركز نحو طرف وجذع الجناح. في نفس الوقت، يميل الهواء المنخفض الضغط فوق الجناح إلى التدفق على نفس النمط من طرف و جذع الجناح إلى الداخل نحو المركز. عند أطراف الجناح، الهواء المتدفق من أسفل الجناح نحو الخارج يقابل الهواء المتدفق إلى الداخل من فوق الجناح، وهذا يولد إضطراب دوامى لجذع الجناح، وعندما يقترب الجناح من سطح الأرض تسبب هذه الدومات مقاومة هوائية مستحثة قوية، الأمر الذى يخفض مقدار الصعود المتولد بواسطة الجناح أو يخفض من كفاءة الهبوط.

إن العوامل التى تؤثر في تأثير الأرض عديدة وربما تتضمن مساحة الجناح، وطوله، وزاوية الهجوم للجناح عند يصبح قريبا من أرض الهبوط. هذا بالإضافة إلى وزن وسرعة و شكل الطائرة وتحميل الجناح (وزن الطائرة لكل وحدة مساحة الجناح). للتغلب على والاستفادة من تأثير الأرض في طائرات تأثير الأرض تم تصميم العديد من أشكال الجناح منها جناح الإيكرانو، جناح دلتا المعكوس، والاجنحة المترادفة (**Tandem**) والجناج الضغطى (**Ram**). في النوع الأول يكون الجناح أقصر بكثير من الطول المعتاد في الطائرات الأخرى وذلك بسبب وجود قوة الرفع الإضافية الناتجة عن تأثير الأرض. على أية حال، لا يكون هذا الشكل مستقرا بشكل ذاتى. ففي حالة الطائرة التى تحلق فوق سطح متغير بشكل ثابتة، مثل الماء، سوف تتأرجح الطائرة إلى أعلى وإلى أسفل بشكل ثابت (نتيجة تأثير الأرض) أسرع من الطائرة القادرة على تعويض التغييرات الحادثة في الارتفاع. وهذا يتطلب شكل معين من أشكال الطيار الآلي في كل طائرات هذا النوع للمحافظة على الارتفاع. على كل حال، يوجد العديد من المزايا

والعيوب لتأثير الأرض على الطائرات نلخصها فيما يلى.

للطائرة المصممة للعمل مع تأثير الأرض كفاءة استهلاك وقود أفضل من طائرة المماثلة العادية لأن الاقتراب الشديد من الأرض يخفض من مقاومة الرفع. كما يوجد هناك أيضا أمان في الطيران القريب من الماء عندما يتوقف المحرك وهذا يؤدي إلى عدم سقوط الطائرة في مسافة طويلة. المشكلة الأخرى هي صعوبة الإقلاع من الماء نظراً لصغر الأجنحة في معظم طائرات تأثير الأرض، الأمر الذى معه لا تستطيع الأجنحة إعطاء القوة اللازمة للارتفاع خارج التأثير الأرضي. أيضا يجب أن تكون الطائرة قادرة على الإقلاع في الجو العاصف والذى يحول الماء إلى تموجات. تم تطبيق حلين رئيسيين للتغلب على هذه المشكلة.
تم استخدام الحل الأول بواسطة برنامج الإيكرانو الروسى وذلك بوضع المحركات أمام الأجنحة مما يوفر المزيد من الإقلاع. الحل الثانى هو استعمال بعض الهواء من المحركات لنفخ تنورة تحت الطائرة أثناء الإقلاع الأمر الذى يسهل رفع الطائرة من الماء.

إن التأثير الأرضي مازال غير مفهوم بالقدر الكافي حتى الآن، حيث أنه أثناء إنزال طائرة صغيرة قد 'تعوم' لمسافة معينة بعد نقطة لمس الأرض المقررة، ويكون يكون ذلك في الغالب بسبب التغيير المفاجئ في ارتفاع الطائرة عند تشغيل محركات الإنزال. أثناء الإنزال يمسك الطيار على معدل ثابت من الهبوط بإدارة الطائرة حول محور الدرجة. يزيد هذا الفعل من زاوية هجوم الجناح الهجوم ويزيد الصعود، الأمر الذى يؤدي إلى هبوط مثالى. في الغالب، يوصف التأثير الأرضي على أنه وسادة هوائية ويعتقد أنه ناتج عن الزيادة في ضغط الهواء التي تحدث تحت الجناح عندما يقترب من الأرض.
أحيانا، يستعمل هذا التعبير أيضا في رياضة سباق السيارات للإشارة إلى التقنيات الديناميكية الهوائية لتحويل الضغط إلى طاقة حركية، وتثبيت السيارة على الأرض عند السرعات العالية وذلك عن طريق عمل الأجنحة وأنفاق فنتوري (venturi).

تأثير الإزاحة الحمراء الجذبية Gravitational redshift

في مجال الفيزياء، يفقد الضوء طاقة عندما يبتعد عن جسم هائل مثل النجم أو الثقب الأسود. يكشف هذا التأثير نفسه في صورة إزاحة حمراء جذبية في تردد الضوء، وتكون قابلة للملاحظة على شكل إزاحة للخطوط الطيفية نحو النهاية الحمراء للطيف. يعرف تأثير الإزاحة الحمراء الجذبية أحياناً بتأثير أينشتاين، بالرغم من أن ذلك ليس المعنى الوحيد المطبق في ذلك التعبير. يبين الشكل 5 صور توضح الإزاحة الحمراء الجذبية

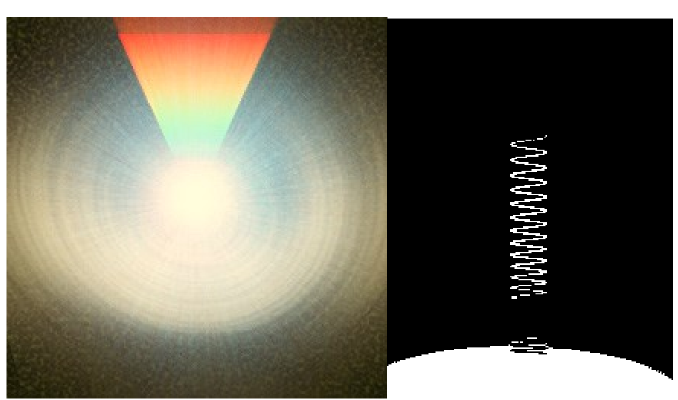
لنجم نيوتروني، حيث يبين الضوء القادم من المنطقة ذات الجاذبية الأقوى إزاحة حمراء، بينما الضوء القادم من المنطقة ذات الجاذبية الأضعف إزاحة زرقاء.

يرمز للإزاحة الحمراء الجذبية في العادة بالمتغير z، طبقاً للعلاقة، $z = ((\lambda_o - \lambda_e)/\lambda_e)$ ، حيث λ_o الطول الموجي للفوتون كما هو مقاس بواسطة مشاهد عن بعد. يكون λ_e هو عبارة عن الطول الموجي للفوتون عندما يقاس عند مصدر الانبعاث. يمكن تقدير الإزاحة الحمراء الجذبية باستعمال الصيغة التى زودتنا بها نظرية النسبية العامة لألبرت آينشتاين التالية،

$$z_{approx} = \frac{GM}{c^2 r}$$

حيث z_{approx} هى إزاحة خطوط الطيف نتيجة الجاذبية عندما ترى بواسطة مشاهد بعيد موجود في الفضاء الحر. G ثابت نيوتن الجذبى (وهو المتغير الذى استخدمه نيوتن نفسه)، M كتلة الجسم الذى يهرب منه الضوء، c سرعة الضوء، و r المسافة القطرية من المركز الذى يولد الضوء.

من الناحية التاريخية، تم التنبؤ بالوهن الجذبى للضوء القادم من النجوم ذات الجاذبية العالية بواسطة العالم جون ميشيل في عام **1783**، وذلك عندما استخدام مبدأ إسحاق نيوتن الذى يفترض أن الضوء يتكون من كريات باليستية صغيرة. بعد ذلك تم اكتشاف تأثير الجاذبية على الضوء بواسطة العالم لابلاس والعالم جوهان جورج فون صولدنر عام **1801** قبل أن يعيد أينشتاين استنتاج الفكرة في ورقته البحثية المنشورة حول الضوء والجاذبية عام **1911**.



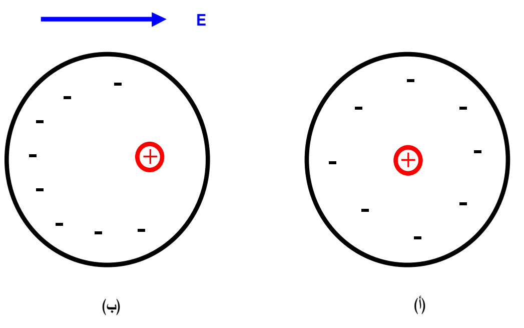
الشكل **5** صور تمثيلية توضح الإزاحة الحمراء الجذبية لنجم نيوتروني.

تم اتهام أينشتاين من قبل العالم لينارد بالانتحال لعدم الاستشهاد بعمل صولدنر السابق، حيث أنه من أعطى الفكرة التي سقطت في طي النسيان قبل أن يبعثها آينشتاين مرة أخرى. من المحتمل أن آينشتاين كان غافلا تماماً عن كامل العمل السابق في هذا الموضوع. على أي حال، ذهب آينشتاين أبعد من ذلك وأشار بأن النتيجة الرئيسية للإزاحات الجذبية كانت توسع الزمن الجذبي، وكانت هذه الفكرة جديدة وثورية حقاً.

من الأشياء المهمة التى يجب الإشادة بها انه يجب أن يقع الطرف المستقبل للضوء المرسل في مكان له جهد جذبي أعلى لكي يمكن ملاحظة الإزاحة الحمراء. بكلمات أخرى، أن يكون المراقب واقف فوق "مرتفع" من المصدر.

تأثير الاستقطاب Polarization effect

تأثير الاستقطاب هو عبارة عن حدوث استقطاب للمادة عند تطبيق مجال كهربي عليها. فعند تطبيق مجال كهربي على المادة العازلة تتولد فيها ما يسمى بثنائيات القطب. ونظراً لأن ذرات المواد العازلة تتكون من نويات موجبة يحيط بها شحنات سالبة و تنطبق مراكز الشحنات الموجبة والسالبة في كل جزء منها في غياب المجال الخارجي. عند تطبيق مجال كهربي ينزاح مركز الشحنة الموجبة عن مركز الشحنة السالبة وينشا ما يسمى ثنائي القطب نتيجة هذا الاستقطاب الكهربي في الذرة أو في المجاميع الذرية. يبين الشكل **6** هذا المفهوم.



الشكل **6**: توزيع الشحنات في (أ) ذرة غير مستقطبة، و (ب) ذرة مستقطبة بفعل المجال الكهربي.

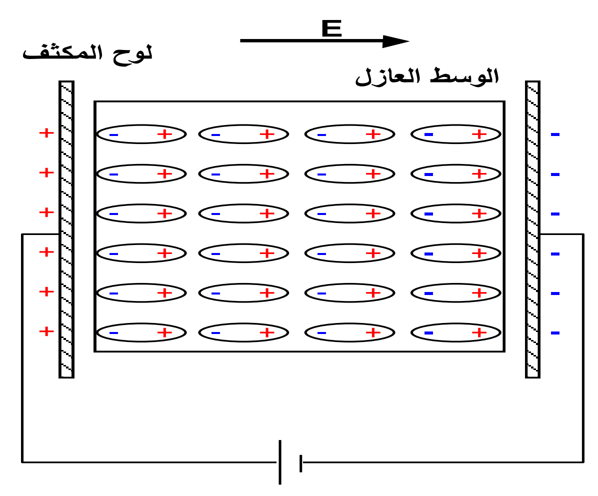
في الحقيقة تظهر بعض المواد العازلة وجود ثنائيات قطب حتى في حالة عدم التأثير بمجال كهربى. في هذه المواد يعاد ترتيب اتجاهات ثنائيات القطب عند التأثير بمجال كهربي أو عند رفع درجة الحرارة. تستخدم المواد العازلة بشكل شائع في صناعة المكثفات الكهربية والبطاريات الجافة.

يعرف الاستقطاب في المادة بأنه مقدار عزم ثنائي القطب لوحدة الحجوم من المادة. بفرض أن عدد الجزيئات في وحدة الحجوم هو N وأن عزم كل جزئ هو $\mathbf{p}$ فإن استقطاب المادة يكتب على الصورة، $\mathbf{P} = N\,\mathbf{p}$ ، حيث افترضنا أن كل العزوم الجزيئية تقع في نفس الاتجاه. عندما يستقطب الوسط فإن الخصائص الكهرو-مغناطيسية للمادة تتغير ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة، $\mathbf{D} = \varepsilon_{\circ}\mathbf{E} + \mathbf{P}$ ، حيث $\mathbf{E}$ هو المجال الكهربي في الوسط ويعرف المتجه $\mathbf{D}$ بالإزاحة الكهربية. يعتمد متجه الإزاحة $\mathbf{D}$ فقط على المصادر الخارجية التى تولد المجال الخارجي ولا يتأثر كلية بإستقطاب الوسط، وبالتالي فإن المجال الخارجي $\mathbf{E}_{\circ}$، أى أن المجال الخارجي المطبق على المادة العازلة يحقق العلاقة، $\mathbf{D} = \varepsilon_{\circ}\mathbf{E}_{\circ}$. مما سبق نجد أن، $\mathbf{E} = \mathbf{E}_{\circ} - \frac{1}{\varepsilon_{\circ}}\mathbf{P}$ وهذا ما يعرف بمجال ماكسويل والذى يبين تأثير الاستقطاب في تعديل المجال الناشئ داخل الوسط، والذى يكون في صورة إختزال للمجال. يمكن أيضا تعيين ثابت العزل عن طريق قياس فرق الجهد عبر المكثف في غياب وفي وجود الوسط العازل وأخذ النسبة بينهما، أرجع الى الشكل 7.

توجد ثلاثة أنواع أساسية من الإستقطابية هى:- الإستقطابية الإلكترونية، الإستقطابية الأيونية، والاستقطابية الإتجاهيه وبالتالي تكون الإستقطابية الكلية هي المجموع الجبرى للأنواع الثلاثة، كما يلى،

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_d ,$$

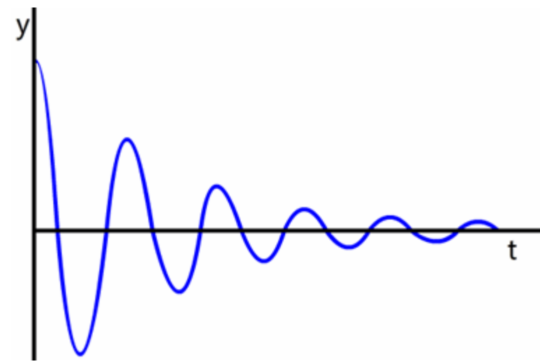
حيث α_e ، α_i ، α_d هي الإستقطابية الإلكترونية و الإستقطابية الأيونية و الإستقطابية الاتجاهية على الترتيب. بالإضافة إلى الأنواع السابقة يوجد نوع أخر من الإستقطابية يسمى الإستقطابية المصطنعة وهذا النوع يصاحب المواد البلورية التى يوجد بها عيوب تركيبية مثل الذرات الشائبة أو الفراغات أو الفقاعات الهوائية في السوائل أو عدم التجانس في المادة.



الشكل 7: طريقة قياس ثابت العزل، لاحظ كيف أن جزيئات الصلب مستقطبة.

تأثير الاضمحلال Damping effect

تأثير الاضمحلال هو التخفيض التدريجي لسعات التذبذبات والتي يمكن ملاحظته في انتشار الطاقة الميكانيكية نتيجة الاحتكاك مع الوسط، أو في انتشار الطاقة الكهربية في الدوائر نتيجة المقاومة التى يلاقيها التيار المتردد، أو في انتشار الطاقة الكهرومغناطيسية نتيجة امتصاص الوسط للطاقة، أو في انتشار الطاقة الصوتية نتيجة امتصاص الوسط لها. والمثال المشهور لتأثير الاضمحلال هو عندما يتم سحب وتر الآلة الموسيقية وتركه فإنه لا يتذبذب إلى ما لانهاية بل تنخفض شدة الذبذبة بالتدريج مع الوقت حتى يسكن، وفي هذه الحالة يكون اضمحلال التذبذب نتيجة الشد الموجود في الوتر.



الشكل 8: مفهوم الاضمحلال في حالة حركة توافقية بسيطة.

بشكل عام، يكمن تعريف تأثير الاضمحلال بأنه التوهين المتزايد لسعة الموجة مع الزمن والذى ينتج عن الفقد التدريجى للطاقة، كما في حالة الموجات الكهرو-مغناطيسية. يبين

الشكل 8 هذا المفهوم في حالة حركة توافقية بسيطة.

تأثير الأكورديون Accordion effect

في مجال الفيزياء اللا-خطية يحدث تأثير الأكورديون عندما تسبب التأرجحات في حركة الجسم المتحرك إضطرابا في إنسياب (تدفق) العناصر التى تتلوه. يمكن أن يحدث هذا التأثير في حركة النقل البري، سباق دراجة، وبشكل عام، في عمليات النقل بخطوط الأنابيب. يؤدى هذا التأثير إلى خفض الطاقة الإنتاجية في الأنظمة التى يحدث فيها. يعرف تأثير الأكورديون بمسميات مختلفة أشهرها تأثير الإجهاض، وعدم استقرار الوتر.

تأثير الانبعاث الأيوني الحراري Thermionic Emission Effect

أنظر تأثير طومسون.

تأثير الانعكاس Inversion effect

في علم الأرصاد الجوية، الانعكاس هو الانحراف عن التغير الطبيعي في الخاصية الجوية مع الارتفاع. يشير هذا المصطلح أيضا إلى انعكاس تغير درجة الحرارة، أو بمعنى آخر، إلى زيادة درجة الحرارة مع الارتفاع. كما يشير إلى الطبقة التي تحدث فيها مثل هذه الزيادة. يبين الشكل 9 توقف الدخان المتصاعد عند تداخله مع هواء ساخن وتكون ما يسمى بالقبعة أو الغطاء.



الشكل 9: توقف الدخان المتصاعد عند تداخله مع هواء ساخن وتكون "قبعة".

من الممكن أن يؤدى الانعكاس إلى التلوث مثلما يحدث عند انحصار الدخان المضبب بالقرب من الأرض، مع احتمال تأثيراته الضار على الصحة. أيضاً من الممكن أن يمنع تأثير الانعكاس تيارات الحمل بواسطة "القبعة" أو الغطاء المتكون. و إذا ما كانت هذه

القبعة مكسورة لأي من الأسباب العديدة، فإن انتقال أي رطوبة موجودة يمكن أن يتسبب في تفجير عواصف رعدية عنيفة.

في الظروف الطبيعية، عادة، في الطبقة السفلى للغلاف الجوى (troposphere) يكون الهواء قرب سطح الأرض أدفأ من الهواء الأعلى بفارق كبير لأن الجو يسخن من أسفل عندما يقوم الإشعاع الشمسي بتسخين سطح الأرض، والذي بدورة يسخن طبقة الجو الأعلى منه مباشرة. في الشكل **10** يبن الخط المتصل الأسود التغير الطبيعى لدرجة الحرارة مع الارتفاع، بينما يبين المسار **DC** مرتفع مقلوب نتيجة التأثير الإنقلابى وفيه تزداد درجة الحرارة مع الارتفاع، وفيما يلى نبين كيف ولماذا يحدث التأثير الإنقلابى.

عند ظروف معينة، ينعكس التدرج الرأسى الطبيعى لدرجة الحرارة (تناقص درجة الحرارة مع الارتفاع)، بحيث يصبح الهواء أبرد بالقرب من سطح الأرض. على سبيل المثال، من الممكن أن يحدث هذا عندما تتحرك كتلة من الهواء الأسخن (الأقل كثافة) فوق كتلة من الهواء الأبرد (الأعلى كثافة). يحدث مثل هذا الانعكاس على مقربة من الجبهات الساخنة، وأيضا في مناطق التدفق الصاعد المحيطية مثل ما هو موجود على طول ساحل كاليفورنيا. عندما تكون الرطوبة في الطبقة الأبرد كافية، فإن الضباب يقبع، في الحالة النموذجية، تحت قبعة الانعكاس. يتولد انعكاس أيضاً حينما يتجاوز الإشعاع من سطح الأرض كمية الإشعاع المستقبل من الشمس، هذا ما يحدث بشكل عام في الليل، أو أثناء الشتاء عندما تكون زاوية الشمس منخفضة جدا في السماء. ينحصر هذا التأثير بالفعل في مناطق الأرض بينما يحتفظ المحيط بالحرارة لوقت أطول. في المناطق القطبية أثناء الشتاء توجد الانعكاسات بشكل دائم على الأرض. إن كتلة الهواء الأسخن المتحركة فوق كتلة أبرد منها يمكن أن تسد الطريق أمام أى حمل قد يكون موجود في كتلة الهواء الأبرد، و هذا ما يعرف بانعكاس التغطية أو السد. لكن إذا انكسر هذا الغطاء، سواء بواسطة الحمل الزائد الذى يتغلب على الغطاء، أو بواسطة تأثير التصعيد لجبهة أو سلسلة الجبال، فمن الممكن أن يؤدى التحرر المفاجئ لطاقة الحمل (مثل انفجار المنطاد) إلى تكون عواصف رعدية حادة.

من الممكن أن يولد الانعكاس مرتفع جوى كنتيجة لغوص الهواء بشكل تدريجي فوق منطقة واسعة والتي تسخن بالضغط الأديباتيكى، المصحوب عادة بمناطق أستوائية ذات ضغط عالي. حينئذ، وكنتيجة لذلك، من الممكن أن تتكون طبقة بحرية مستقرة على المحيط. لكن، عند تحرك هذه الطبقة فوق مياه متزايدة السخونة فإن



الشكل 49: تخطيط حاسوبى لسطح ورقة اللوتس.

في إحدى الطرق تم تصنيع سطح ألمنيوم مجهز لا يحب الماء (لا يتبلل) بشكل فائق وذلك بغمره في هيدروكسيد الصوديوم لعدة ساعات ثم طلاءه بطبقة مغزلية من البيرفلورونونان (perfluorononane) بسمك قدره 2 نانومتر. تزيد هذه الطريقة من زاوية تلامس الماء من 67 درجة إلى 168 درجة، وهو التأثير الذي يمكن تفسيره بواسطة قانون كازى (Cassie). بينت مجهرية الإلكترون أن سطح الألومونيوم يماثل سطح اللوتس مع تركيب بنائى مسامى دقيق يحتوى على هواء محصور، كما يبين الشكل 49.

تأثير المادة Material effect

تأثير المادة هو عملية تخص مجال فيزياء الجزيئات ويعمل على تعديل تذبذبات النيوترينو في المادة. كان هذا التأثير ثمرة عمل الفيزيائي الأمريكي لينكولن ولفينيشتين عام 1978 و عمل الفيزيائيين السوفيت ستانسلاف ميخاييف و ألكسى سمرنوف عام 1986 الذي أديا إلى فهم هذا التأثير. لذا يسمى هذا تأثير المادة أيضا بتأثير MSW كمختصر للحروف الأولى لأسماء هؤلاء العلماء.

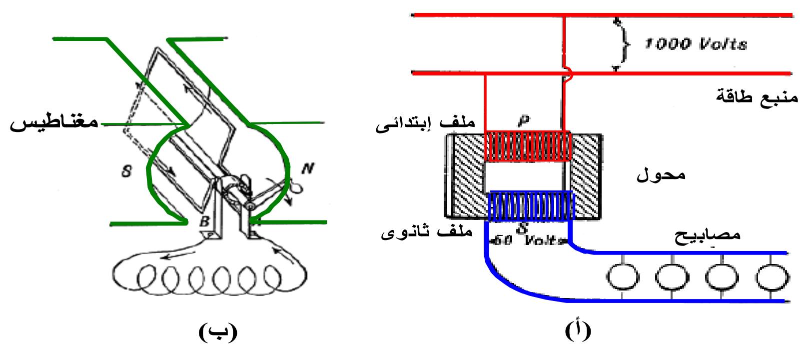
يغير وجود الإلكترونات في المادة من مستويات طاقة انتشار الحالات الذاتية للنيوترينوات (جمع نيوترينو) نتيجة التيار المشحون المترابط نحو تشتت الإلكترون للنيوترينوات (بمعنى تفاعلات ضعيفة). معنى هذا أن للنيوترينوات في المادة كتلة فعالة مختلفة عن كتلة النيوترينوات في الفراغ، وحيث أن تذبذبات النيوترينوات تعتمد على مربع الفرق في كتلة النيوترينوات، فإن التذبذبات ربما تختلف في المادة عنها في الفراغ. في حالة ضد-النيوترينو، فإن التصور يكون هو نفسه لكن يكون لتغير الإلكترون ضد-النيوترينو إشارة معاكسة. إن هذا التأثير مهم عند الكثافات الإلكترونية الكبيرة جدا للشمس حيث يتم إنتاج إلكترون نيوترينو. تتولد النيوترينوات العالية الطاقة الملاحظة كحالات ذاتية عالية الكتلة في المادة υ_{2m} وتبقى كما هي مع تغير كثافة المادية الشمسية.

(عندما تمر النيوترينوات برنين المادة يكون للنيوترينوات أقصى احتمال لتغيير طبيعتها، لكن ما يحدث هو أن هذا الاحتمال يكون صغير لدرجة الإهمال، وهذا ما يسمى الانتشار في النظام الأديباتيكى). لذلك، فإن النيوترينوات العالية الطاقة التى تترك الشمس تكون في الحالة الذاتية لانتشار الفراغ، υ_2، التى لها تداخل مختزل مع إلكترون نيوترينو $\upsilon_e = \cos\theta\,\upsilon_1 + \sin\theta\,\upsilon_2$ التى ترى بواسطة تفاعلات الإلكترون في الكواشف.
في حالة النيوترينوات الشمسية عالية الطاقة يكون تأثير المادة مهم، ويؤدى إلى أن نتوقع إن $P_{ee} = \sin^2 2\theta \approx 30\%$. تم بشكل مثير تقديم عرض في مرصد جزيئة سودبيري للنيوترينو، حيث تم حل مشكلة النيوترينو الشمسى أخيرا. تم بيان أن **30**% من نيوترينوات الإلكترون (مقاسة بتفاعل تيار مشحون واحد للإلكترون نيوترينوات) تصل الكاشف، حيث أن مجموع كل النيونرينوات الثلاثة (مقاسة بتفاعل تيار متعادل واحد) تتفق جيداً مع التوقعات.
بدلا من ذلك، بالنسبة للنيوترينوات الشمسية منخفضة الطاقة، فإن تأثير المادة يكون صغيرا ويمكن اهماله ويجب تطبيق صيغة تذبذب الفراغ $P_{ee} = 1 - (\sin^2 2\theta)/2 \approx 60\%$.
إن هذا يتفق مع الملاحظات التجريبية لتجربة هومستاك، وهى التجربة الأولى لكشف مشكلة النيوترينو الشمسى، التى تم فيها قياس النيوترينوات المنخفضة الطاقة، مما أعطى دعم كبير لهومستاك. تم تدعيم هذه النتائج بنتائج تجربة مفاعل كاملاند، والتي كانت التجربة الوحيد القادرة أيضا على تقديم قياس بارامترات تذبذب، تتفق بشكل جيد مع كل القياسات الأخرى.
أيضا، يمكن لتأثير المادة أن يعدل تذبذبات النيوترينو في الأرض، ويمكن البحث المستقبلي عن تذبذبات جديدة و/ أو انتهاك مبدأ التناظر للنيوترينو أن يستعمل هذه الخاصية.

تأثير المحول Transformer effect

في مجال الكهروديناميكا، يكون تأثير المحول، (أو الحث المتبادل)، هو أحد العمليات التي بواسطتها تتولد القوة الدافعة الكهربية. في المحول، يولد تغير التيار الكهربي المار في الملف الإبتدائى مجال مغناطيسي متغير والذي بدورة يولد تيار كهربي في الملف الثانوي (الشكل **50** أ). إن هذه العملية هي إحدى طريقتين لتوليد القوة الدافعة الكهربية، والطريقة الأخرى هي الحركة النسبية لموصل يحمل تيار خلال مجال مغناطيسي (الشكل **50** ب). تعتمد هذه الطريقة على موصل ومجال مغناطيسي يتحركان بالنسبة إلى

بعضهما البعض، الأمر الذي معه يتغير الفيض المغناطيسي $\frac{d\varphi}{dt}$. يمكن أن توضيح ذلك بشكل أبعد بالرجوع إلى قانون فاراداي للحث الكهرو-مغناطيسي و الذي تم تنقيحه بقانون لينز.



الشكل **50**: توليد القوة الدافعة الكهربية (أ) بواسطة محول كهربي، (ب) بواسطة ملف دوار في مجال مغناطيسي.

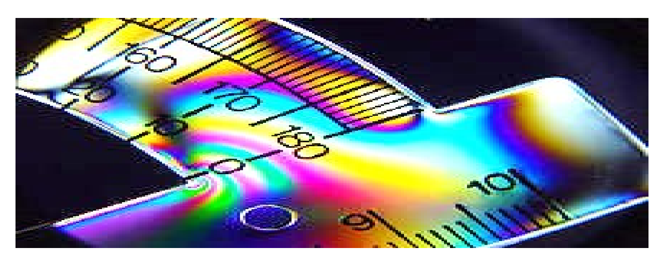
تأثير المرونة-الضوئية Photoelasticity Effect

المرونة-الضوئية هي طريقة تجريبية لتعيين توزيع الإجهاد في المادة. تستعمل الطريقة في أغلب الحالات عندما تصبح الطرق الرياضية متعبة جدا. على خلاف الطرق التحليلية لتعيين الإجهاد، فإن طريقة المرونة-الضوئية تعطي صورة دقيقة جدا لتوزيع الإجهاد حتى حول التوقفات (عدم الاتصال) المفاجئ في المادة (انظر الشكل **51**). تعمل الطريقة كأداة مهمة لتعيين نقط الإجهاد الحرج في المادة وتستعمل في أغلب الأحيان لتعيين عوامل تركيز الإجهاد في الأشكال الهندسية غير المنتظمة. فيما يلي نلقى مزيد من الضوء على تاريخ ومبادئ هذه الظاهرة.

من الناحية التاريخية، ظهرت المرونة-الضوئية في بداية القرن العشرين نتيجة الأبحاث العلمية لكل من كوكر (**E.G.Coker**) و فيلون (**L.N.G Filon**) بجامعة لندن. لقد كان كتابهم حول المرونة الضوئية، الذي نشر عام **1930** بمجلة كامبردج بمثابة النص القياسي على الموضوع. بين عامي **1930** و **1940** ظهر العديد من الكتب الأخرى في فرنسا وألمانيا وروسيا حول هذا الموضوع.

في الوقت نفسه، تم عمل العديد من التطورات في هذا المجال بفضل إنجاز التحسينات الكبيرة في التقنية و تبسيط الأجهزة. أدت التحسينات في التقنية إلى توسيع مجال

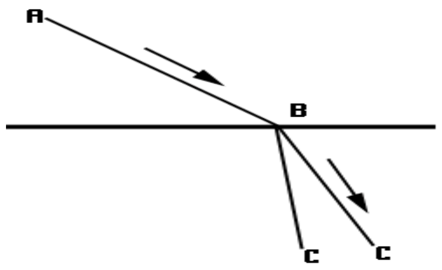
المرونة-الضوئية أيضا إلى الحالة الثلاثية الأبعاد للإجهاد. كما تم حل العديد من المشاكل العملية باستعمال مفهوم المرونة-الضوئية حتى أصبحت شائعة جدا في وقت قصير. أدى ذلك إلى إعداد عدد من مختبرات المرونة-الضوئية في المؤسسات التعليمية والصناعات.



الشكل 51: صورة تبين توزيع الاجهاد الضوئي ومفهوم تأثير المرونة-الضوئية.

مع وصول استعمال الميكروسكوب الإستقطابي الرقمي للدايودات المشعة للضوء، أصبح من الممكن مراقبة التراكيب البنائية بشكل مستمر، الأمر الذي أدى إلى تطوير مجال ديناميكا المرونة الضوئية. وقد ساهم هذا التطوير بشكل كبير في دراسة الظواهر المعقدة المتعلقة بكسر المواد.

من الناحية الفيزيائية، تعتمد هذا التأثير على خاصية الانكسار المزدوج، التى تتميز بها مواد شفافة معينة. إن خاصية الانكسار المزدوج هي الصفة التى بها يكون للشعاع الضوئي عند مروره خلال مادة الانكسار المزدوج اثنين من معاملات الانكسار وليس معامل انكسار واحد، انظر الشكل 52.



الشكل 52: مخطط يوضح مفهوم الانكسار المزدوج.

تظهر خاصية الانكسار المزدوج في العديد من البلورات البصرية. لكن تظهر مواد المرونة-الضوئية خاصية الانكسار المزدوج فقط عند تطبيق إجهاد وعندما يكون مقدار معامل الانكسار عند كل نقطة في المادة يعتمد على حالة الإجهاد عند تلك النقطة بشكل مباشر. لهذا، فإن المهمة الأولى هي تطوير نموذج مصنوع من مثل هذه المواد. يجب أن

يكون للنموذج هندسة مماثلة لهندسة التركيب البنائى الذي يجرى تحليل الإجهاد له، لأن هذا يضمن أن تكون حالة الإجهاد في النموذج مشابه لحالة الإجهاد في التركيب.

عندما يمر شعاع ضوئي مستقطب استوائيا خلال مادة مرونة-ضوئية فإنه يخضع لعملية انقسام (أى ينقسم إلى جزأين) على امتداد اتجاه الإجهادين الرئيسيين ويظهر كل قسم من هذين القسمين معامل انكسار مختلف. يؤدى الفرق في معاملات الانكسار إلى تأخر طورى نسبى بين موجات كل من القسمين. يعطى مقدار التأخر النسبي بقانون الإجهاد الضوئي: $R = Ct(\sigma_{11} - \sigma_{22})$ ، حيث R هو التأخير المتولد، C هو معامل الإجهاد الضوئي، t سمك العينة، σ_{11} الإجهاد الرئيسى الأول، و σ_{22} الإجهاد الرئيسى الثاني. ثم، يتم جمع الموجتين معا في نطاق استقطاب واحد.

تحدث ظواهر التداخل الضوئي ونحصل على نموذج من الهدب يعتمد على التأخير النسبي . بالتالى، عن طريق دراسة نمط الهدب يمكن تعيين حالة الإجهاد عند النقط المختلفة في المادة.

من المفيد، في هذا المقام، تعريف نقط تماثل الإجهاد (**Isoclinics**) ونقط تماثل فرق الإجهاد (**Isochromatics**). إن نقط تماثل الإجهاد هي مكان النقط في العينة الذي على امتداده تكون الإجهادات الأساسية في نفس الاتجاه. بينما تكون نقط تماثل فرق الإجهاد هي مكان النقط في العينة الذي على امتداده يظل الفرق بين الإجهاد الرئيسى الأول والإجهاد الرئيسى الثاني مقدار ثابت. أى أنها الخطوط التى تصل بين النقط المتساوية القيمة لذروة للإجهاد القصى.

يمكن تطبيق المرونة-الضوئية في كل من الحالات الثنائية والثلاثية الأبعاد للإجهاد. لكن تطبيق المرونة-الضوئية في نظام الإجهاد ثلاثي-الأبعاد يكون أكثر تعقيداً مقارنة مع النظام حالة الإجهاد ثنائي- الأبعاد. لذا فإن الفقرة الحالية تتعلق بتطبيق المرونة-الضوئية في فحص نظام الإجهاد المستوي. يتحقق هذا الشرط عندما يكون سمك النموذج أصغر بكثير مقارنة مع أبعاد في المستوى. هكذا يكون الاهتمام فقط بالإجهادات الموازية لمستوى النموذج، بينما تكون المركبات الأخرى للإجهاد صفر.

يختلف الإعداد التجريبي من تجربة إلى أخرى. النوعين الأساسين المستخدمين في طرق الإعداد هما طريقة مجال الاستقطاب المستوى و ومجال الاستقطاب الدائري.

في طريقة مجال الاستقطاب المستوى، يشمل الإعداد اثنين من المستقطبات الخطية

ومصدر ضوئي. من الممكن أن يكون المصدر الضوئي أحادي اللون أو مصدر ضوء أبيض، وهذا يعتمد على التجربة. أولا يمر الضوء من خلال المستقطب الأول الذي يحول الضوء إلى ضوء مستقطب استوائيا. يتم وضع الجهاز بالشكل الذي يمرر الضوء المستقطب خلال العينة الواقعة تحت تأثير الإجهاد. حينئذ، يتبع هذا الضوء (في كل نقطة العينة) اتجاه الإجهاد الرئيسي عند تلك النقطة. بعد ذلك ثم يتم جعل الضوء يمر عبر المحلل وفي النهاية يتم الحصول على نموذج من الهدب.

يتكون نموذج الهدب في طريقة المستقطب المستوى من كل من نقط تماثل الإجهاد ونقط تماثل فرق الإجهاد. تتغير نقط تماثل الإجهاد بتغير اتجاه المستقطب، بينما لا يحدث تغيير في نقط تماثل فرق الإجهاد.

في طريقة مجال الاستقطاب الدائري، يتم إضافة اثنين من ألواح ربع-الموجة إلى ترتيب تجربة طريقة مجال الاستقطاب المستوى. يوضع لوح الربع – موجة الأول بين المستقطب والعينة، ويوضع لوح الربع – موجة الثاني بين العينة والمحلل. بإضافة هذه الألواح يتم الحصول على ضوء مستقطب دائرياً.

الميزة الأساسية التى يتميز بها المستقطب الدائري على المستقطب المستوى هي أنه في طريقة مجال الاستقطاب الدائري نحصل فقط على نقط تماثل فرق الإجهاد وليس نقط تماثل الإجهاد، و هذا يزيل مشكلة التفريق بين النوعين من النقط. للمزيد من التفاصيل ارجع إلى المخمد الصوتضوئى والمخمد الضوئمرن.

تأثير المشاهد Observer effect

يشير تأثير المشاهد (يسمى أيضا تحيز المشاهد) إلى وجود أشياء عديدة في مواقف مختلفة، مع ذلك توجد تشابهات. يستخدم هذا التأثير في العديد من المجالات: في العلوم، تكنولوجيا المعلومات، وفي العلوم الاجتماعية.

في المجالات العلمية، يشير تأثير المشاهد إلى التغييرات التى تؤثر على مراقبة الظاهرة قيد الملاحظة. على سبيل المثال: إن عملية ملاحظة الإلكترون سوف تجعله يغير مساره لأن الضوء أو الإشعاع المستخدم في الملاحظة يحتوى على طاقة كافية لإزعاجه.

في ميكانيكا الكم، إذا لم يلاحظ نتيجة لحدث ما، فإن ذلك يعني أن الحدث يكون موجود في حالة من التراكب، والتي تكون موجودة في كل الحالات المحتملة في نفس

الوقت. المثال الأكثر شهرة هو التفكير في قطة شرودينجر. تتلخص هذه التجربة في أنه عند وضع قطة مع سم قاتل في صندوق مغلق وبعد فترة نتساءل هل ماتت القطة أم لا تزال حية؟ الإجابة هي أنه لا يمكن الجزم بأن القطة لا تكون حية ولا تكون ميتة حتى يتم مشاهدتها (بفتح الصندوق) - حتى لحظة فتح الصندوق، فإنه يمكن اعتبار إحدى الحالتين وهما أن القطة حية أو ميتة. لذلك، من الناحية التقنية يجب التفكير في الحالتين معاً، أي يجب اعتبار أن القطة نصف حية ونصف ميتة، وهذا ما يسمى بالاحتمال.

في الفيزياء، إن تأثير المشاهد الأكثر دنيوية يمكن أن يكون نتيجة الآلات التي بالضرورة تعدل الحالة التى تقيسها بشكل ما. بمعنى أن وسيلة قياس التأثير تؤثر أيضا في النظام ويجب اعتبارها جزء منه. مثلاً، في حالة الأجهزة الإلكترونية، يجب توصيل مقاييس التيار ومقاييس الجهد بالشكل الذي لا تؤثر في التيار أو الجهد المقاس تأثير كبير. على نفس النمط، يجب أن يمتص زجاج مستودع الترمومتر الزئبقى القياسي بعض الطاقة الحرارية ولهذا تتغير درجة حرارة الجسم الذي تقيسه. لذلك يتم صنع زجاج المستودع بحيث يكون رقيق الجدران وذي حجم صغير جدا (مقارنة مع الجسم المقاس) حتى لا تتأثر درجة حرارة الجسم المقاس. وفي حالة غير ذلك، يكون التغير في درجة حرارة الجسم المقاس نتيجة مستودع الترمومتر كبيرة وبالتالي يكون القياس غير دقيق.

كثيراً، ما يتعارض مبدأ عدم اليقين لهيزنبيرج (لكن بشكل خاطئ) مع "تأثير المشاهد"، عند ربط دقة المقاييس مع التغييرات في سرعة و مكان جسيمات معينة نسبة إلى المنظور الذي يأخذه المراقب عليها.

في تكنولوجيا المعلومات، يشير تأثير المشاهد إلى المردود الكبير لناتج تأثير عملية الملاحظة على سير العملية. على سبيل المثال: إذا تم استخدام ملف في عملية تسجيل ما لتسجيل تقدم العملية، فإن فعل رؤية الملف أثناء سير العملية يمكن أن يسبب خطأ في دخل/خرج العملية، الأمر الذي بدورة قد يسبب توقف العلمية ذاتها. المثال الأخر هو مراقبة أداء وحدة المعالجة المركزية (CPU) بتشغيل برنامج مراقبة على نفس وحدة المعالجة، الأمر الذي يؤدى إلى نتائج غير دقيقة.

إن برنامج تصحيح الأخطاء عن طريق تعديل مصدر شفرتها (مثل إضافة خرج إضافي أو توليد ملفات تسجيل) أو عن طريق تشغيل البرنامج في حالة مصحح ربما يسبب أحياناً أخطاء معينة لتقليل أو تغيير سلوكها، الأمر الذي يزيد الصعوبة أمام الشخص الذي

يحاول عزل الخطأ.

في مجال علوم الاجتماع ومجال الاستخدامات العامة، يشير تأثير المشاهد إلى كيفية تغيير الناس لسلوكهم عندما يلاحظوها ويبصروها. لا يتصرف الناس في أغلب الأحيان بتصرفات غريبة في أسلوبهم العادي عندما يكونا مدركين بوجود من يراقبهم (ارجع إلى تأثير هاوثورن، Hawthorne).

المثال الأخر، هو أنه في القوات المسلحة، يتم إستعمال أمر التفتيش المعلن لرؤية كيف يمكن أن يفعل الجنود عندما يفكرون في الأمر، بينما يستعمل أمر التفتيش المفاجأ بشكل عام لرؤية إلى أى مدى تم إعدادهم بالشكل الحسن.

التأثير المغنيطوسعري Magnetocaloric effect

يستند التأثير المغنيطوسعري على حدوث تغيرات حرارية لبعض المواد عند تطبيق مجالات مغناطيسية على المادة. ويعتبر التطبيق العملى الأهم لهذا التأثير هو تقنية التبريد المغناطيسي والتى بواسطتها يمكن الوصول إلى درجات حرارة منخفضة جداً (أقل بكثير من 1 كلفن) بالإضافة إلى المقدرة على التبريد المستخدمة في المبردات الشائعة والتى تعتمد على تصميم كل نظام.

تم إقتراح المبدأ الأساسي بواسطة العالم ديباى عام 1926 والعالم جياكوى عام 1927 وقد بدأ بناء أول المبردات المغناطيسية العاملة الأولى على شكل مجموعات عديدة في عام 1933. إن طريقة التبريد المغناطيسي كانت الطريقة الأولى التى تم تطويرها للحصول على درجة حرارة أقل من حوالي 0.3 كلفن (بإستخدام تقنية التبريد المخفف للهليوم-3/ هليوم-4). فيما يلى نعرض بمزيد من التفصيل نظرية عمل التأثير المغنيطوسعرى.

تأتى تسمية تعبير التأثير المغنيطوسعري من الشقين:- مغناطيس وسعر حراري. إن هذا التأثير هو عبارة عن ظاهرة ديناميكية حرارية مغناطيسية يحدث فيها تغير إنعكاسي في درجة حراة المادة المناسبة عند تعرضها لتغير في المجال المغناطيسي. يعرف هذا التأثير أيضاً بالإزالة المغناطيسية الأدياباتيكية والتى يتم فيها إستخدام العملية بشكل محدد لإحداث هبوط في درجة الحرارة. في ذلك الجزء من عملية التبريد العامة، يؤدى الإنخفاض في شدة المجال المغناطيسي المطبيق خارجيا على المادة إلى إعادة توجيه للمناطق المغناطيسية بفعل التهيج للطاقة الحرارية (الفونونات) الموجودة في المادة.

وعندما تكون المادة معزولة، بحيث لا يتم تبادل الطاقة الحرارية مع الوسط المحيط، (أى أن العملية تكون أدياباتيكية) فإن المناطق المغناطيسية تمتص الطاقة الحرارية لإداء إعادة التوجيه وهذا يؤدى درجة الحرارة المادة. تحدث العشوائية للمناطق بشكل مماثل لما يحدث في عملية العشوائية عند درجة حرارة كورى، عدا أن ثنائيات القطب المغناطيسية تتغلب على إنخفاض شدة المجال المغناطيس الخارجى المطبق بينما تظل الطاقة ثابتة بدلا من عرقلة المناطق المغناطيسية بواسطة الحديدومغناطيسة الداخلية عند إضافة الطاقة.

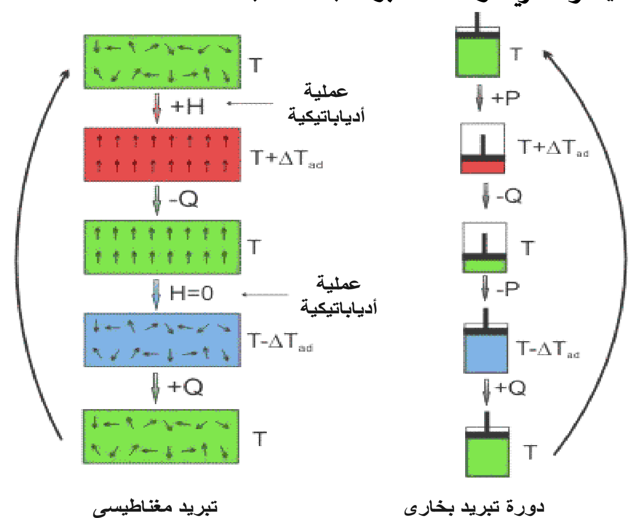
من أكثر الأمثلة البارزة للتأثير المغنيطوسعري المثال الذى يظهر في العنصر الكيميائي الجدالنيوم وبعض من سبائكه. لوحظ أن درجة حرارة الجدالنيوم تزداد عند يوضع في بعض المجالات المغناطيسية و تعود درجة الحرارة إلى الوضع الطبيعي عند إزالة المجال. يكون التأثير أقوى بشكل كبير في لسبيكة الجدالنيوم $Gd_5(Si_2Ge_2)$. كما يظهر البارازديوم مثل هذا التأثير المغنيطوسعري القوى، الأمر الذى سمح للعلماء بالإقتراب من الصفر المطلق بمقدار جزء من الألف من الدرجة.

لإلقاء مزيد من الضوء على العملية الديناميكية الحرارية للتأثير المغنيطوسعرى نعتبر فيما يلى دورة التبريد والتى تماثل دورة كارنوت المعتادة لتبريد البخار (الشكل 53). يمكن وصف دورة التبريد عند نقطة أولية حيث يتم إدخال مادة التشغيل المختارة إلى المجال المغناطيسة (وبمعنى آخر، يتم عمل زيادة في كثافة الفيض المغناطيسي). تكون مادة التشغيل هي عبارة عن المادة المبرده والتى تبدأ في حالة إتزان حراري مع بيئة حرارية مبردة. تتكون العملية من عدة خطوات توضح بالشكل 53 ويكون سياقها كالأتى.

تمغنط أدياباتيكى: يتم وضع المادة في وسط معزول. تؤدى الزيادة في شدة المجال الخارجى المطبق ($+H$) إلى إصطفاف ثنائيات القطب المغناطيسي للذرات وبالتالى تناقص الأنتروبيا المغناطيسية والسعة الحرارية للمادة . وحيث أن مجمل الطاقة لايفقد وبالتالى لا تتناقص قيمة الأنتروبيا الكلية (طبقاً لقوانين الديناميكا الحرارية) تكون النتيجة المحصلة هي أرتفاع درجة حرارة المادة ($T+\Delta T_{ad}$).

التحول الإنثالبى مع ثبوت شدة المجال المغناطيسي: يتم إزالة الحرارة المضافة بواسطة المائع (مثل الماء أو الهليوم) (أى $-Q$). يتم الإبقاء على ثبات شدة المجال المغناطيسي لمنع ثنائيات القطب من إعادة إمتصاص الحرارة. بمجرد الوصول إلى تبريد كافي يتم

فصل المادة المغنيطوسعرية والمادة المبردة ($H = 0$).



الشكل 53: التماثل بين التبريد المغناطيسي ودورة تبريد البخار المعتادة، حيث H المجال المغناطيسي الخارجي المطبق، Q كمية الحرارة و P الضغط و ΔT_{ad} التغير الأدياباتيكي في درجة الحرارة.

إزالة المغناطيسية أدياباتيكيا: يتم إعادة المادة إلى الظروف الأدياباتيكة (العزل) مرة أخرى حتى تبقى الأنتروبيا ثابتة. لكن في هذه المرة يتم تخفيض شدة المجال المغناطيسي الخارجي وهذا يؤدى إلى المزيد من التبريد للعينة (حيث تتحول الطاقة والأنتروبيا من أنتروبيا حرارية إلى أنتروبيا مغناطيسية، بمعنى عشوائية ثنائيات القطب المغناطيسية).

التحول الإنتروبى مع ثبوت شدة المجال المغناطيسي: يتم الإبقاء على ثبوت شدة المجال المغناطيسي لمنع المادة من إلتقاط الحرارة. بعد ذلك يتم وضع المادة في حالة إتصال حراري مع الوسط المحيط المراد تبريده. وحيث أن درجة حرارة مادة التشغيل تكون أقل من درجة حرارة الوسط المبرد المحيط فإن الحرارة تنتقل من الوسط إلى مادة التشغيل ($+Q$) وبالتالي تنخفض درجة حرارة الوسط مرة أخرى ومن ثم تبدء دورة جديدة. فيما يلى نقلى مزيد من الضوء على خصائص مواد التشغيل.

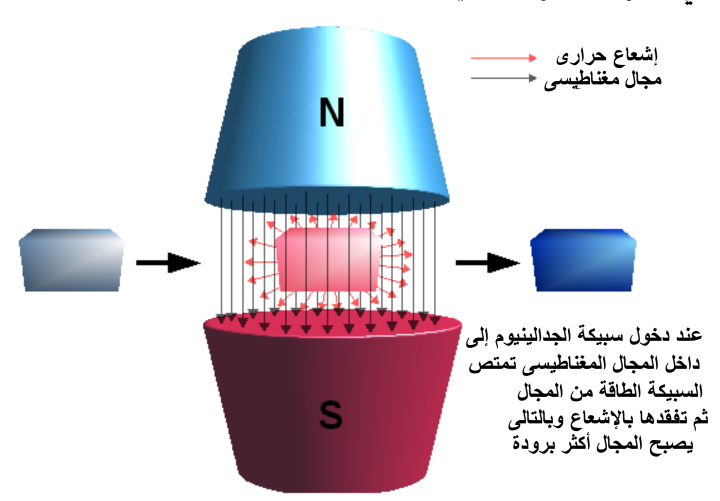
تعتمد قيم الأنتروبيا المغناطيسية والتغيرات في درجة الحرارة الأدياباتيكية بشكل قوى على عملية الإصطفاف المغناطيسي في المواد. بشكل عام، تكون القيم صغيرة في المواد ضد-الحديدومغناطيسية، والمواد الحديدومغناطيسة وأنظمة زجاج الغزل. من الممكن تكون القيمة كبيرة في المغناطيسات الحديدية المعتادة التى تخضع لإنتقال مغناطيسي من الرتبة الثانية وتكون أكبر بشكل عام في المغناطيس الحديدى الذى يخضع لإنتقال مغناطيسي من الرتبة الأولى. أيضاً، المجالات الكهربائية البلورية والضغط يمكن أن

يكون لها تأثير كبير على الأنتروبيا المغناطيسية ووالتغيرات الأدياباتيكية لدرجة الحرارة.

حالياً، يمكن إستخدام سبائك الجدالينيوم، التى تولد من 3 إلى 4 كلفن لكل تغير في شدة المجال المغناطيسي مقداره واحد تسلا، في أغراض التبريد المغناطيسي أو في أغراض تولد القدره الكهربية.

بينت الأبحاث الحديثة على المواد التى تظهر تغير ضخم في الأنتروبيا أن سبائك $Gd_5(Si_xGe_{1-x})_4$، $La(Fe_xSi_{1-x})_{13}Hx$، و $MnFeP_{1-x}As_x$ على سبيل المثال هو من المواد الواعدة في هذا المجال وتسمى مواد تأثير مغناطيوسعرية عملاقة (GMCE). إن الجدالينيوم وسبائكه هو أفضل المواد المتوفرة حالياً للتبريد المغناطيسي بالقرب من درجة حرارة الغرفة حيث أنها تمر بتحولات طورية من الرتبة الثانية لا تتضمن تخلفية مغناطيسية أو حرارة. يبين الشكل 54 مخطط توضيحي لمثل هذه المبردات.

بالإضافة إلى ماسبق، في التبريد يتم إستخدام أملاح بارمغناطيسية مثل نترات السيريوم ماغنسيوم. في هذه المواد تكون ثنائيات القطب النشطة هي تلك الناتجة عن الأغلفة الإلكترونية في الذرات البارامغناطيسية.



الشكل 54: مخطط لإستخدام الجادلينيوم في التبريد المغناطيسي.

التأثير المغنيطوضوئي Magneto-optical Effect

إن التأثير المغنيطوضوئي هو أى ظاهرة من عدد من الظواهر التي تنتشر فيها الموجة الكهرومغناطيسية خلال الوسط التي تتغير خصائصه بوجود مجال مغناطيسي شبه ساكن. في مثل هذا المواد (والتي تسمى مواد جيروإستوائية، **gyrotropic** ، أو

جيرومغناطيسية، (gyromagnetic**)، من الممكن أن تنتشر إستقطابات إهليليجية دوارة إلى اليمين وإلى اليسار بسرعات مختلفة، الأمر الذى يؤدى إلى عدد من الظواهر المهمة.

عندما ينتقل الضوء خلال طبقة من مادةمغنيطوضوئي ة، تسمى النتيجة بتأثير فاراداي (وهو إمكانية دوران مستوى الإستقطاب) مكون ما يسمى بدوار فاراداي. تعرف نتائج عملية الإنعكاس من مادةمغنيطوضوئي ة بتأثير كير المغنيطو-ضوئي (والذى لا يتعارض مع تأثير كير اللا-خطي).

بشكل عام، تقوم التأثيرات المغنيطوضوئية بكسر التناظر العكسي الموضعي للزمن (وبمعنى آخر:، عندما يؤخذ في الإعتبار إنتشار الضوء فقط، وليس المجال المغناطيسي)، هذا بالإضافة إلى مبدأ تبادل لورينز (**Lorentz reciprocity**)، الذي يكون هو شرط ضروري لبناء الأجهزة مثل العازلات الضوئية (التى يمر الضوء خلالها في إتجاه واحد دون الإتجاه الأخر). (الطريق الأخر، الأقل نفعاً، لكسر التناظر العكسي للزمن هو أن يعتمد على فقد الإمتصاص).

يوجد نوعان من المواد الجيروإستوائية تسمى متشابهات ضوئية لها إتجاهين دوران معكوسين لنوعي الإستقطاب الرئيسيين، طبقاً لممتدات (**tensors**) المترافق المركب ε للأوساط الفاقدة.

بشكل خاص، في المادة المغنيطوضوئية من الممكن أن يسبب وجود المجال المغناطيسي (سواء المطبق خارجيا أو بسبب أن المادة نفسها مادة حديدومغناطيسية) تغير في ممتد السماحية للمادة، ε. يصبح الممتد ε غير متماثل الخواص (مصفوفة **3x3**) مع مركبات مركبة، وهذا يعتمد بالطبع على تردد الضوء الساقط ω. إذا أمكن إهمال فقد الإمتصاص تكون ε مصفوفة هيرميتية. تصبح المحاور الرئيسية الناتجة مركبة أيضا، طبقاً للضوء المستقطب إهليجياً، حيث يمكن لإستقطابات اليمين و اليسار أن تسافر بسرعات مختلفة (على غرار الإنكسار الثنائى).

وبشكل محدد أكثر، بالنسبة للحالة عندما يمكن إهمال فقد الإمتصاص، فإن الشكل الأكثر عمومية لـ ε الهرميتية يكون:

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon'_{xx} & \varepsilon'_{xy} + ig_z & \varepsilon'_{xz} - ig_y \\ \varepsilon'_{xy} - ig_z & \varepsilon'_{yy} & \varepsilon'_{yz} + ig_x \\ \varepsilon'_{xz} + ig_y & \varepsilon'_{yz} - ig_x & \varepsilon'_{zz} \end{pmatrix}$$

أو بشكل مكافئ فإن العلاقة بين مجال الإزاحة **D** والمجال الكهربائي **E** تكون، $D = \varepsilon E = \varepsilon' E + iE \times g$، حيث ε' تكون مصفوفة متماثلة و $\mathbf{g} = (g_x, g_y, g_z)$ تكون شبه متجه حقيقى يسمى متجه التدوير، والذى يكون مقداره صغير بشكل عام مقارنة مع القيم الذاتية لـ ε'. يسمى إتجاه **g** محور التدوير للمادة. تتناسب الرتبة الأولى **g** مع المجال المغناطيسي المطبق: $\mathbf{g} = \varepsilon_0 \chi^{(m)} \mathbf{H}$، حيث $\chi^{(m)}$ هي القابلية المغنيطوضوئية (والتى تكون قيمة عددية في الأوساط المتماثلة الخواص، ولكن عند العميم تكون ممتد). إذا كانت هذا القابلية تعتمد بنفسها على المجال الكهربي، فإن يمكن الحصول على التأثير الضوئى اللا-خطى لتوليد البارامترات المغنيطوضوئية (إلى حد ما مثل تأثير بوكليت، الذى تكون شدته محكومة بالمجال المغناطيسي المطبق)

الحالة الأسهل للتحليل هي تلك التى يكون فيها **g** محور رئيسى (متجه ذاتى) لـ ε'، و القيمتين الذاتيتين الأخرتين لـ ε' متطابقتين. ثم، إذا تركنا g يقع في إتجاه z بغرض التبسيط، فإن ممتد ε يبسط إلى الشكل التالى،

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 & +ig_z & 0 \\ -ig_z & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_2 \end{pmatrix}$$

إن التحليل الأكثر شيوعياً هو إعتبار أن الضوء ينتشر في إتجاه z (موازي لإتجاه g). في هذه الحالة، تكون الحلول عبارة عن موجات كهرومغناطيسية مستقطبة بشكل إهليليجي ولها سرعات طور $1/\sqrt{\mu(\varepsilon_1 \pm g_z)}$ (حيث μ السماحية المغناطيسية). يؤدى هذا الفرق في سرعات الطور إلى تأثير فاراداي).

في حالة الضوء الذى ينتشر بشكل تام (نقى) في إتجاه عمودى على محور التدوير، فإن الخصائص تعرف بتأثير كوتون -موتون و تستخدم للدائر. للمزيد من التفاصيل أرجع إلى تأثير زيمان وتأثير الـ **QMR**.

تأثير المقاومة الضغطية Piezoresistance effect

تعرف الكهروضغطية بأنها مقدرة البلورات على توليد فرق جهد كإستجابة لتطبيق إجهاد ميكانيكي عليها. إن التسمية مشتقة من اللغة اليونانية لكلمة **piezein** والتي تعنى كلمة ضغط وكلمة كهرباء. فيما يلى نلقى مزيدا من الضوء على هذه الظاهرة.

يصف تأثير المقاومة الضغطية تغير المقاومة الكهربية للمادة نتيجة تطبيق إجهاد ميكانيكى. من الجدير بالذكر أن تأثير المقاومة الضغطية يختلف عن التأثير

الكهروضغطى. على خلاف ما يحدث في التأثير الكهروضغطى، فإن تأثير المقاومة الضغطية يسبب تغير في المقاومة فقط، ولا تنتج تغيرات كهربية.

من الناحية التاريخية، تم إكتشاف تغير مقاومة الأجهزة المعدنية نتيجة تطبيق حمل ميكانيكي لأول مرة عام **1856** على يد العالم لورد كلفن .



اللورد كلفن (وليم طومسون **1824-1907**) عام **1883**.

في السيليكون والجرمانيوم تم إكتشاف وجود تأثير كهروضغطي قوى لأول مرة عام **1954** وبعده أصبحت بلورة السليكون الآحادية المادة المختارة لتصميم الدوائر التناظرية والرقمية. فيما يلى شرح مختصر الآلية التى يحدث بها تأثير المقاومة الضغطية.

تتميز حساسية أجهزة المقاومة الكهربية بمعامل المقياس الذى يعرف بالعلاقة،

$$K = (dR/R)/\varepsilon_L$$

حيث ε_L و R تشير إلى الزيادة النسبية في طول العنصر والمقاومة على الترتيب.

في المتحسسات المعدنية يكون تأثير المقاومة الضغطية ناتج فقط عن التغير في الشكل الهندسى للمتحسس نتيجة تطبيق إجهاد ميكانيكى، تكون معاملات المقياس على الصورة

$$K = 1 + 2\upsilon$$

حيث ترمز υ إلى نسبة بواسن الخاصة بالمعدن. على الرغم من هذه القيمة تعتبر صغيرة بالمقارنة بتأثير المقاومة الضغطية للمواد الأخرى، إلا أن معدن المقاومات الضغطية (مقاييس الإجهاد) يستخدم بنجاح في مدى كبير من التطبيقات.

في المواد شبه الموصلة يكون تأثير المقاومة الضغطية أكبر بعدة مرات منه في تأثير المقاومة الضغطية الهندسية، ويوجد في مواد مثل الجومانيوم، السيليكون متعدد

التبلور، السيليكون الأمورفى، كربيد السيليكون وفي السيليكون الآحادى البلورة. لا تتغير المقاومة النوعية للسيليكون نتيجة تغير الشكل المعتمد على الإجهاد فقط، بل أيضاً نتيجة المقاومة النوعية المعتمدة على الأجهاد للمادة. يؤدى هذا إلى زيادة معاملات المقياس برتبتين في المقدار أعلى منها في حالة المعادن. تتغير مقاومة السليكون الموصل-السالب بشكل أساسى نتيجة إزاحة ثلاثة أزواج مختلفة من أزواج الوادى الموصل (conducting valley pairs). تسبب الإزاحة إعادة توزيع حوامل الشحنة بين وديان لها حركيات مختلفة. يؤدى هذا إلى تغير حركية حوامل الشحنة طبقاً لإتجاه تدفق التيار.

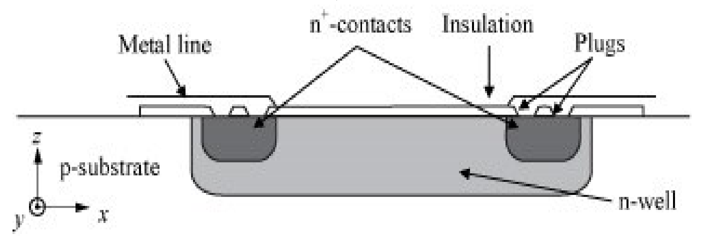
يكون هذا التأثير طفيفاً نتيجة لتغير الكتلة الفعالة المتعلقة بالأشكال المتغيرة للوديان. في السليكون الموصل-p تكون الظواهر أكثر تعقيدا وتؤدي أيضا إلى تغييرات في الكتلة وفي إنتقال الفجوات.

تم إستخدام ظاهرة المقاومة الضغطية في أشباه الموصلات في أجهزة المتحسسات التى تستخدم كل أنواع المواد شبه الموصلة مثل: الجرمانيوم، السليكون المتعدد التبلور، السليكون الأمورفى، والسليكون آحادى البلورة. ونظراً لأن السليكون أصبح اليوم المادة المرشحة للدوائر المتكاملة الرقمية والتناظرية، فقد نالت أجهزة سليكون المقاومة الضغطية إهتمام عظيم. تسهل هذه الأجهزة تكامل متحسسات الإجهاد بواسطة الدوائر ثنائية القطبية ودوائر أشباه الموصلات الأكسى معدنية المكملة، CMOS. لقد مكنت هذه المادة من تصنيع تشكيلة واسعة من المنتجات التى تستعمل تأثير المقاومة الضغطية. يستخدم العديد من الأجهزة التجارية (مثل متحسسات الضغط ومتحسسات التعجيل تأثير المقاومة الضغطية في السليكون. لكن بسبب مقداره فإن تأثير المقاومة الضغطية في السليكون قد جذب أيضا إنتباه البحث والتطوير لكل الأجهزة الأخرى بإستعمال سيليكون آحادى البلورة. على سبيل المثال، كانت متحسسات هول شبه الموصلة، قادرة على إنجاز دقتها الحالية فقط بعد إستخدام الطرق التي تزيل مساهمات الإشارة نتيجة الإجهاد الميكانيكي المطبق.

المقاومات الضغطية هي مقاومات مصنوعة من مواد مقاومة ضغطية وتستخدم في العادة لقياس الإجهاد الميكانيكى. تعتبر المقاومات الضغطية أبسط أشكال أجهزة المقاومة الضغطية.

يمكن صناعة المقاومات الضغطية بإستخدام تنوع واسع من مواد المقاومة الضغطية.

أبسط أشكال متحسسات سليكون المقاومة الضغطية عبارة عن مقاومات منتشرة (مصنعة بتقنية الإنتشار). تتكون المقاومات الضغطية من بئرين متصلين من النوع الموجب أو النوع السالب منتشرين خلال وسادة (ركيزة) من النوع السالب أو النوع الموجب، الشكل 55. بما أن المقاومة المربعة المثالية من هذه الأجهزة تكون في مدى عدة مائة من الأوم، فإن الأمر يتطلب إضافة إنتشار إضافي زائد من النوع p^+ أو من النوع n^+ من التوصيلات الأومية للجهاز. فيما يلى نقدم شرح مختصر لفيزياء تشغيل هذا الجهاز.



الشكل 55 مخطط لمقاومة ضغطية سالبة البئر.

لقيم الإجهاد المثالية في مدى الميجا بسكال يمكن إعتبار أن إعتماد الإجهاد على هبوط الجهدعلى إمتداد المقاومة V_R إعتماد خطى. يمكن وصف المقاومة الضغطية الواقعة على أمتداد المحور السينى، كما هو الحال في الشكل السابق، بالعلاقة.

$$V_r = R_0 I [1 + \pi_L \sigma_{xx} + \pi_T (\sigma_{yy} + \sigma_{zz})]$$

حيث R_o ، I ، π_T ، π_L ، و σ_{ij} ترمز إلى المقاومة بدون إجهاد، التيار المطبق، معاملات المقاومة الضغطية الطولية والمستعرضة، و المركبات الثلاثة لإجهاد الشد على الترتيب. تتغير معاملات المقاومة الضغطية بشكل ملحوظ مع إتجاه المتحسس بالنسبة للمحور البلورى ومع شكل التطعيم. وعلى الرغم من الحساسية الكبيرة جداً للإجهاد في المقاومات البسيطة، إلا أن إستعمالها يفضل في الترتيبات الأكثر تعقيدا لأنه يزيل بعض الحساسية والعوائق. عيب المقاومات الضغطية أنها حساسة جداً للتغيرات في درجة الحرارة بينما تظهر تغييرات إعتماد أقل نسبياً للإجهاد على تغيرات سعة الإشارة. من متحسسات الإجهاد المتقدمة المشتقة من المقاومات الضغطية يوجد قناطر هويتستون و متحسسات إطار الصورة.

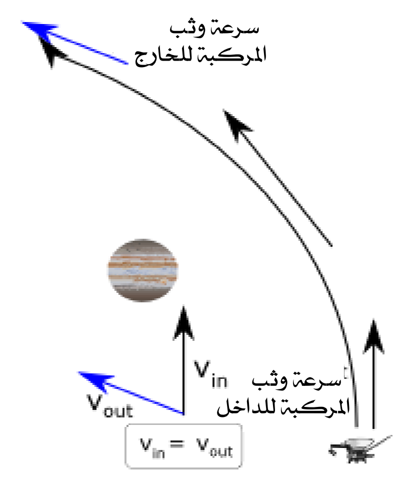
تأثير المقلاع Slingshot effect

في الميكانيكا المدارية وهندسة الطيران المقلاع الجذبي هو إستخدام جاذبية الكوكب لتعديل مسار وسرعة المركبة الفضائية بين الكواكب. يستعمل هذا التأثير بشكل شائع

كمناورة لزيارة الكواكب الخارجية، والتي بدونها تكون الزيارة مكلفة جدا، إن لم تكن مستحيلة الوصول بواسطة التقنيات الحالية. يعرف هذا التأثير أيضاً بتأثير " مساعدة الجاذبية".

أن مناورة المقلاع حول كوكب ما تغير سرعة مركبة فضائية نسبة إلى سرعة الشمس، مع المحافظة على سرعة المركبة الفضائية بالنسبة إلى سرعة الكوكب (كما هو يجب أن يتم، طبقا لقانون حفظ الطاقة). بإعتبار التقريب الأول، من مسافة كبيرة، يظهر للمركبة الفضائية قوة طرد بعيدا عن الكوكب (كما في حال الإصطدام المرن). فيما يلى المزيد من التفسير لهذه الظاهرة.

بإفتراض مركبة فضاء في مسار ما يأخذها بالقرب من كوكب معين المشترى، على سبيل المثال، الشكل 56. عندما تقترب المركبة الفضائية من الكوكب، فإن جاذبية المشتري ستسحبها، وتزيد من سرعتها. بعد مرورها أمام الكوكب، تستمر الجاذبية بسحب المركبة الفضائية، و تبطئ من سرعتها. تكون محصلة التأثير على السرعة صفر، بالرغم من إحتمال تغير الإتجاه في العملية.

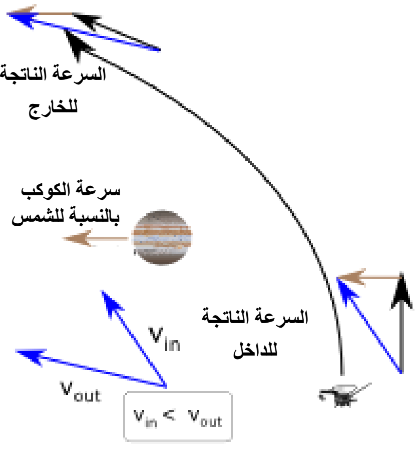


الشكل 56: لا يتم إكتساب زخم بالمرور أمام كوكب ثابت.

لذلك أين يوجد المقلاع؟ مفتاح الأمر هو أن لا ننسى أن الكواكب لا تقف بلا حراك؛ بل تكون متحركة في مداراتهم حول الشمس، الشكل 57. بما أن سرعة المركبة الفضائية تبقى بدون تغيير عندما تقاس بالنسبة إلى المشتري، فإن السرعة الأولية والسرعة النهائية قد تكونا مختلفتين بشكل كبير عند قياسها في محاور إسناد الشمس. وطبقاً لإتجاه السرعة نحو المسار، فإن المركبة الفضائية يمكن أن تكتسب سرعة تصل مرتين

قدر السرعة المدارية للكوكب. في حالة المشتري، يكون هذا أكثر من 13 كم/ث. يمكن محاكاة المقلاع بدحرجة كرة حديد وراء مغناطيس ثم تحريكها بعيداً عنه. ولأن كلتا الكتلتين لا يجب أن تعبر المسارات، فإن العجلة تكون مائلة على المجال وهكذا تكون مشابه لتوجيه المركب الشراعية للعمل ضد القوة.

من المهم فهم كيف تتحرك مركبة الفضاء من كوكب إلى كوكب أخر. بأخذ المريخ كمثال إتجاه، فإن أسهل طريق لحل هذه المشكلة هي إستخدام مدار نقل هوهمان، وهو المدار الإهليجي عندما تكون الأرض في الحضيض والمريخ في الأوج. إذا إنطلقت المركبة في اللحظة الصحيحة، فإن المركبة الفضائية تصل إلى الأوج بمجرد عبوره المريخ. تستخدم هذه الأنواع من الإنتقالات بشكل شائع.

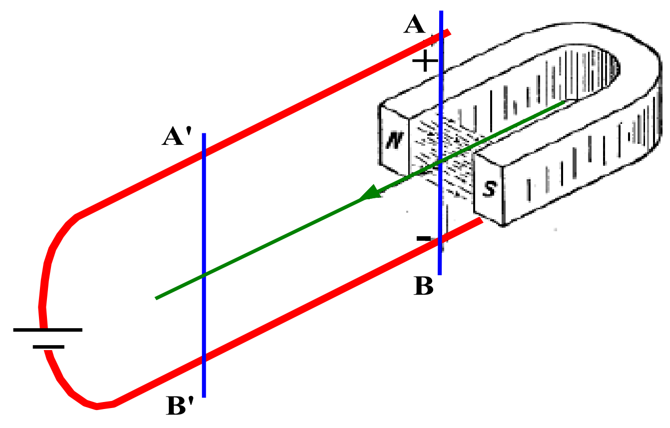


الشكل 57: عند تحرك الكوكب بالنسبة للشمس فإن المركبة الفضائية تكتسب زخم.

يتطلب نقل هوهمان إلى الكواكب الخارجية أوقات أطول و دلتا V كبيرة (تعديلات السرعة التى تستهلك صاروخ الدافع). يعتبر هذا هو مجال أكثر تطبيقات تأثير المقلاع شيوعا. بدلا من مسار هوهمان المباشر إلى زحل مثلاً، و بدلاً من إرسال مركبة الفضاء في المسار المستهدف، فإنها ترسل إلى المشتري مثلاً ثم حينئذا يتم إستخدام المقلاع لتعجيل المركبة نحو زحل. يسمح هذا الطريق (يكسب الكوكب زخم زاوي إضافي للمركبة الفضائية)، بالوصول إلى زحل بدون إستهلاك وقود، أو بإستهلاك وقود أقل من الوقود اللازم لوصول المشتري. أيضا، أثناء ما تكون المركبة الفضائية قريبة من المشتري، تتضخم فعالية صاروخ الدافع، تنتج مثل هذة الدفعات الصغيرة بالقرب من المشترى تغييرات كبيرة في السرعة النهائية لمركبة الفضاء. تتطلب مثل هذه المهمات توقيت حذر، الأمر الذى يجعل فترة الإطلاق جزء حرج من المهمة.

تأثير المنجنيق Catapult effect

في مجال الكهروديناميكا، تأثير المنجنيق هو ظاهرة تحدث عندما يمر تيار خلال سلكين متصلين بواسطة سلك طليق في مجال مغناطيسي، الشكل 58. عند مرور التيار يقذف السلك الطليق أفقيا بعيدا عن المجال المغناطيسي. يحدث هذا نتيجة القوى المغناطيسية المؤثرة في الأسلاك وفي المجال المغناطيسي نفسه. فيما يلى نستعرض بعض نتائج تأثير المنجنيق في مجال العلوم.



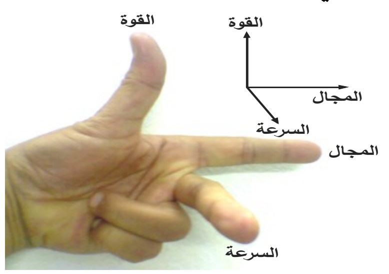
الشكل 58: تأثير المنجنيق.

إن فكرة تأثير المنجنيق هو تأثير مركزى في حياتنا اليومية حيث يساهم بشكل كبير في فهمنا للمحرك الكهربي (الذي يستعمل في العدد من التطبيقات إبتداء من المكانس والغسلات الكهربية وصولا إلى السيارات). يساعد تأثير المنجنيق في توضيح حركة المحرك نفسه ولذلك يستعمل على نحو واسع في العلم.

تساعد قاعدة اليد اليسرى في توضيح لماذا يتحرك المسلك الطليق كنتيجة لتأثير المنجنيق. تنص قاعدة اليد اليسرى على أنه "عند دخول جسم مشحون يتحرك بسرعة عمودية على مجال مغناطيسي فإن الجسم يتأثر بقوة تكون في اتجاه عمودي على كل من اتجاه الحركة وإتجاه المجال المغناطيسي" ويمكن تصور ذلك بواسطة اليد اليسرى حيث عندما يشير الإبهام إلى اتجاه المجال يشير السبابة إلى اتجاه السرعة ويشير الأصبع الأوسط إلى اتجاه القوة المؤثرة، كما يبين الشكل 59. تستخدم هذه القاعدة في المحركات الكهربية.

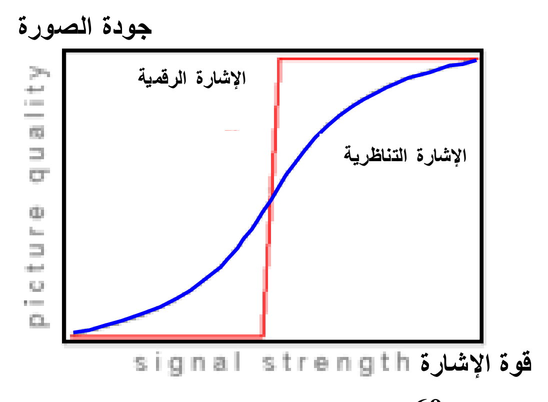
تأثير المنحدر Cliff effect

يستخدم تعبير تأثير المنحدر في مجال الإتصالات، التلفزيون الرقمي، الراديو الرقمي و هندسة الإرسال، يسمى هذا التأثير أيضاً بتأثير المنحدر الرقمي. يصف هذا التأثير الفقد المفاجئ لإستقبال الإشارة الرقمي.



الشكل 59: توضيح لقواعد اليد اليسرى.

على خلاف ما يحدث مع الإشارات التناظرية، والتي تضمحل بشكل تدريجي عندما تتناقص قوة الإشارة أو عندما يزداد التداخل الكهرومغناطيسي أو يزداد المسار المتعدد، فإنه في تأثير المنحدر تعطى الإشارة الرقمية البيانات التي تكون أما مثالية وكاملة أو غير موجودة بالمرة على الطرف الآخر. يبين الشكل 60 المفهوم السابق حيث يعرض تغير تدريجى لجودة الصورة مع قوة الإشارة في حالة الإشارة التناظرية وتغير مفاجئ (منحدر) في حالة الإشارة الرقمية.



الشكل 60: إعتماد جودة الصورة على قوة الإشارة.

يمكن رؤية هذا التأثير بسهولة جدا في التلفزيونات الرقمية، وفي تلفزيونات القمر الصناعي. أثناء تطبيق تصحيح الخطأ الأمامي على الإذاعة، عند الوصول إلى العتبة الدنيا لجودة الإشارة (أقصى معدل خطأ قطعة) فإن قوة الإشارة لم تعد كافية لإسترجاع جهاز فك الرموز. في هذه الحالة، قد تتلف الصورة (تتقطع)، أو تثبت، أو

تصبح الصورة فارغة. تتضمن أسباب هذا التأثير الإضمحلال الناتج عن الجو الماطر أو العبور الشمسي على الأقمار الصناعية، وإنعكاسات درجة الحرارة وتغيرات الطقس أو الظروف الجوية الأخرى التى تولد ظواهر شاذه على الأرض. إن العملية التى تسمى بالتضمين الهرمى يمكن أن تساعد في حل هذه المشكلة، عن طريق التحول إلى وضوح أدنى قبل خروج الإشارة بالكامل.

في مجال الهواتف الجوالة، يسمع أيضا عن تأثير المنحدر، حيث ينقطع الصوت على إحدى جوانب الإتصال أو على كلا الجانبين معاً، الأمر الذى معه ربما يسقط النداء. تعاني الأشكال الأخرى للراديو الرقمي أيضا من هذه المشكلة.

يتم إستخدام إذاعة الراديو الرقمى الهجينى (HD Radio) رسميا فقط في الولايات المتحدة الأمريكية. نظام إذاعة الراديو الرقمى الهجينى هو نظام تم تصميمه ليكون إحتياطي للراديو التناظرى. تتحول أجهزة الإستقبال المصممة لهذا النوع من الإذاعة فورا إلى الإشارة التناظرية عند فقد الغلق على الإشارة الرقمية. يمكن عمل هذا فقط طالما كانت المحطة متناغمة مع التشغيل في النمط الرقمي الهجين.

تأثير المنطقة- D   D-region effect

المنطقة – D هي جزء طبقة الأيونوسفير التى توجد على مسافة تتراوح بين **50** إلى **95** كم فوق سطح الأرض. تتميز هذه المنطقة بتأثير يحمل إسمها. يمكن لهذا التأثير أن حدوث إضمحلال للموجات الراديوية، الذى تسببه الكثافة العالية للإلكترونات الحرة في هذه المنطقة والمتولدة بواسطة الإشعاع الشمسى. يكون هذا التأثير ظاهر جداً أثناء ساعات النهار. وحيث أن الإشعاع الشمسى يغيب في الليل فإن عملية التأين تتوقف، ويؤدى ذلك إلى توقف الإضمحلال للموجات الراديوية.

تأثير الموجات الميكرونية اللا-حراريةNonthermal icrowave effect

تم إفتراض تأثير الموجات الميكرونية اللا-حرارية لتفسير بعض المشاهدات غير العادية التى لوحظت في مجال كيمياء المايكرويف. كما يقترح الاسم، تم إفتراض أن طاقة المايكرويف لا تنقل طاقة حرارية. بدلا من ذلك، تقرن طاقة المايكروويف نفسها بشكل مباشر مع أنماط الطاقة ضمن الجزيئ أو الشبيكة البلورية. إن التأثيرات اللا-حرارية لا توجد تقريباً في السوائل على وجه الخصوص، وذلك لأن زمن إعادة توزيع الطاقة بين

المجال تقابل الجسيمات الأولية لفيزياء الجسيمات. على أية حال، تبين هذه الصورة، أنه حتى الفراغ يكون له تركيب معقد جدا. يجب إجراء كل حسابات نظرية المجال الكمي المتعلقة بهذا النموذج في الفراغ.

ضمنيا، يكون للفراغ كل الخصائص التى ربما تملكها الجسيمات: الغزل ، أو الإستقطاب في حالة الضوء، الطاقة، ... إلخ. في المتوسط، تتلاشى كل هذه الخصائص، وبهذا المعنى فإن الفراغ في النهاية يكون عبارة عن الخلو، أو العدم. يوجد إستثناء مهم واحد وهو طاقة الفراغ أو قيمة التوقع الفراغية للطاقة. ينص مفهوم تكمأ المتذبذب التوافقى البسيط على أن الطاقة المحتملة الأقل أو طاقة نقطة الصفر لمثل هذا المتذبذب يمكن أن تعطى بالعلاقة،

$$E = \frac{1}{2}\hbar\omega$$

بالجمع على كل المتذبذبات المحتملة عند كل نقط الفضاء نحصل على كمية لانهائية. للتخلص من هذه اللا-نهاية، يمكن الجدل بأن الفروق في الطاقة هي فقط القابلة للقياس بشكل فيزيائى، و هذه هي الحجة التى تدعم نظرية إعادة تطبيع.

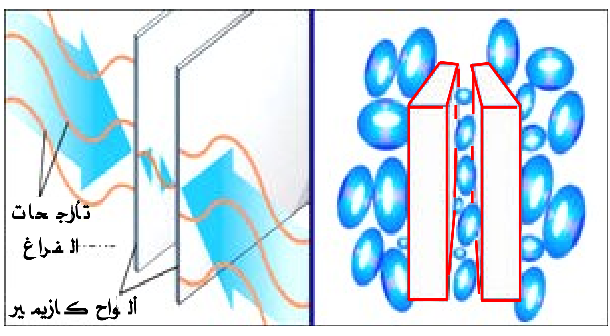
هكذا في كل الحسابات العملية، يتم معالجة اللا-نهاية دائما. لكن، في المعنى العميق، تكون إعادة التطبيع غير مرضية، وأن التخلص من المالا-نهاية هذه تقدم تحدي في البحث عن نظرية كل شيء (النظرية الشاملة). إبتداء من عام **2006**، لا يوجد تفسير مهم لكيفية وجوب معالجة المالا-نهاية هذه كصفر أساسى. إن القيمة غير-الصفرية هي في الأساس ثابت كونى وأى قيمة كبيرة تخلق مشكلة في علم الكون.

كانت ملاحظة كازيمير بأن التكمأ الثانى (المجال الكهرومغناطيسي الكمى)، في وجود أجسام كتلية مثل المعادن أو العوازل الكهربية، يجب أن يطيع نفس الشروط الحدية التى يجب أن يطيعها المجال الكهرومغناطيسي. بشكل خاص، يؤثر هذا على حساب طاقة الفراغ في وجود الموصل أو العازل الكهربي، الشكل **110**.

نعتبر، على سبيل المثال، طريقة حساب قيمة التوقع الفراغى لمجال كهرومغناطيسي داخل تجويف معدني، مثل، تجويف رادار أو دليل مايكرويف موجي مثلاً. في هذه الحالة، تكون الطريقة الصحيح لإيجاد طاقة نقطة الصفر للمجال هي أن نجمع طاقات الموجات الموقوفة للتجويف. بفرض أن E_n هي طاقة الموجة الموقوفة رقم **n** فإن قيمة التوقع الفراغ للمجال الكهرومغناطيسي في التجويف على الصورة

$$\langle E\rangle=\frac{1}{2}\sum E_n$$

مع إجراء الجمع على كل القيم الممكنة n . ينتج المعامل $\frac{1}{2}$ من حقيقة أن طاقات النقطة الصفرية يتم جمعها (كما المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة $E=\hbar\omega/2$). إن كتابة المعادلة بهذا الشكل يجعل هذا المجموع متباعد بوضوح، لكن يمكن أن يستخدم لخلق تعابير محدودة.



الشكل 110: مخطط يبين قوى كازيمير على ألواح متوازية.

بشكل خاص، قد يتسائل البعض كيف تعتمد طاقة نقطة الصفر على الشكل s للتجويف. يعتمد كل مستوى طاقة E_n على الشكل، وبالتالي يمكن كتابة $E_n(s)$ لمستوى الطاقة، و $\langle E(s)\rangle$ لقيمة التوقع الفراغي. في هذه النقطة تتأتى ملاحظة مهمة: القوة عند النقطة p على حائط التجويف تساوى التغير في طاقة الفراغ إذا إضطرب الشكل s للحائط قليلا، وليكن بمقدار ∂s عند النقطة p . بمعنى أن نحصل على،

$$F(p)=-\left.\frac{\delta\langle E(s)\rangle}{\delta s}\right|_p$$

وهذه القيمة هي قيمة محدودة في الكثير من الحسابات العملية. يمكن كتابة قوة كازيمير لوحدة المساحة F_c/A للألواح الموصلة التامة النموذجية بينها فراغ على الصورة،

$$\frac{F_c}{A}=-\frac{d}{da}\frac{\langle E\rangle}{A}=-\frac{\hbar c\pi^2}{240a^4}$$

حيث $\hbar$ ثابت بلانك المختزل، c سرعة الضوء، و a المسافة بين اللوحين. تكون القوة سالبة، مما يشير بأن القوة تكون جذبية. وعند تقريب اللوحين من بعضهما البعض فإن الطاقة تنخفض. إن وجود $\hbar$ يبين أن قوة كازيمير لوحدة المساحة تكون صغيرة جداً، علاوة على ذلك، تكون القوة في الأساس من الأصل ميكانيكي كمي.

تأثير كاوتسكى Kautsky effect

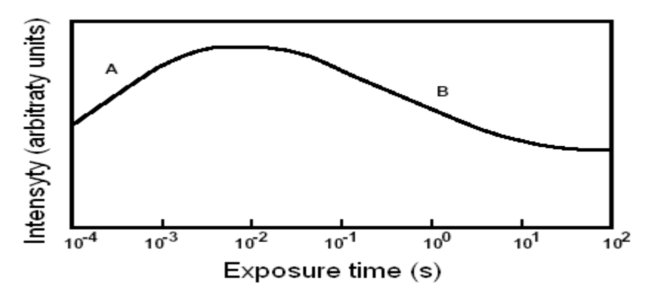
يسمى تأثير كاوتسكى أيضاً بالتألق الفلورى العابر، أو بحث التألق الفلورى، أو بإضمحلال التألق الفلورى. تم تسمية هذا التأثير على أسم مكتشفه وهو العالم كاوتسكى و هيرش عام 1931. إن تأثير كاوتسكى هو ظاهرة تشتمل على إختلاف مثالي في سلوك التألق الفلورى للنبات عندما يتعرض للإضاءة. عند تعريض خلايا البناء الضوئى المتكيفة مع الظلام لضوء مستمر، فإن التألف الفلورى للكلوروفيل تظهر تغيرات مميزة في الشدة المرافقة لحث نشاط البناء الضوئى. فيما يلى نقدم شرحاً مختصراً لهذا المفهوم.

عند إضاءة النبات فإن شدة التألق الفلورى تزداد مع ثابت الزمن في مدى الميكرو أو المللى ثانية. بعد بضع ثوانى تنخفض الشدة مرة أخرى وتصل في النهاية إلى مستوى ثابت. الشكل 111. تعزى الزيادة المبدئية في شدة التألق الفلورى (المنطقة A في الشكل) إلى التشبع التصاعدى لمراكز التفاعل في البناء الضوئي. لذالك فإن عملية تخميد التألق الفلورى بواسطة البناء الضوئى تتناقص مع زمن الإضاءة، مع الزيادة المقابلة في كثافة شدة التألق الفلورى. يسمى التخميد، عن طريق البناء الضوئى، بالتخميد الكيموضوئى. كما يسمى التناقص البطيئ لشدة التألق الفلورى عن الأزمنة اللاحقة (المنطقة B) بالتخميد اللا-كيموضوئى. يكون التخميد اللا-كيموضوئى على الأغلب ناتج عن آلية حماية التي تتفادى بها النبات التأثير المضاد لزيادة الضوء. تسمى العمليات التي تؤدي إلى تخميد لا-كيموضوئى أغلب الأحيان باسم الكبح الضوئى.

تأثير كريستوفيلوس Christofilos effect

يشير تأثير كريستوفيلوس إلى فخ الجسيمات المشحونة على طول خطوط القوى المغناطيسية. تم توقع هذا التأثير لأول مرة في عام 1957بواسطة العالم الهاوي الأمريكي اليونانى الأصل نيقولاس كريستوفيلوس الذي قضى حياته مهندساً متجولاً في شركة مصاعد. أرسل كريستوفيلوس حساباته إلى العلماء المشتغلين في البحث المتعلق بهذا التأثير، لكن لم يرعوها أدنى إهتمام. وعندما جاء أحد المحترفون بنفس النتائج التى أنجزها كريستوفيلوس(بشكل مستقل) عنئذا فقط تم الترحيب به في جامعة كاليفورنيا. كان كريستوفيلوس هو الرجل الذي إقترح أولا بأن الإلكترونات قد لا ترتد فقط بواسطة خطوط القوة، لكن تكون في الحقيقة محاصرة بواسطة خطوط القوى،

لذلك سمى هذا التأثير على إسمه.



الشكل **111**: العلاقة بين شدة التألق الفلورى في النبات مع زمن التعرض للضوء.

في أواخر **1958**، قرر علماء أمريكان إختبار إذا ما كان تأثير كريستوفيلوس موجود حقا. قاموا بقذف قنابل ذرية بواسطة الصوريخ إلى مستوى عالى فوق سطح الأرض وفجروها على إرتفاع مقداره **300** ميل (وسمى هذا بمشروع الرجل البصير **Argus**). أصدرت القنابل المنفجرة جسيمات مشحونة تصرفت بعد ذلك بالضبط كما توقع كريستوفيلوس، حيث حوصرت هذه الجسيمات على طول خطوط القوة.

تأثير كلاندار Callendar Effect

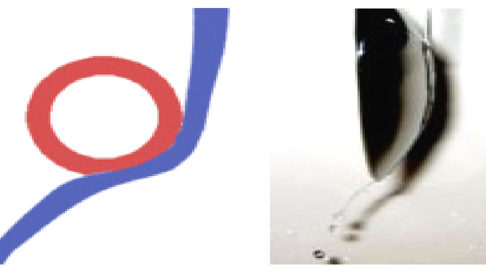
في مجال علم المناخ، فإن تأثير كلاندار هو الأسم الذى أطلق على تأثير ثانى أكسيد الكربون المتولد من عملية الإحتراق على المناخ العالمى. لذلك، فإن تأثير كلاندار هو حالة خاصة لتأثير البيت الزجاجي. إن حجم تأثير كلاندار على إرتفاع درجة حرارة الكون مازال محل جدل.

تم تسمية تأثير كلاندار على اسم غاي ستيوارت كلاندار (**1898-1964**)، الذي إقترح التأثير في عام **1938** بالإستناد على عمل سابق بواسطة جون تاندال و سفانت أرهينيوس. إن غاي ستيوارت كلاندار هو إبن الفيزيائى الإنجليزى هيو لونجبورن كلاندر (**1863-1930**). بين الإختراعات كلاندر كان المخطط المطوى الذى يسمح بتجميع بيانات درجة الحرارة المناخية على مدى فترة زمنية طويلة.

تأثير كواندا Coandă Effect

في مجال الأيروديناميكا والهيدروديناميكا أيضاً يعرف تأثير كواندا بتأثير تعلق (إرتباط الطبقة الحدودية، و هو عبارة عن ميل السائل المتدفق لبقاء الإرتباط مع السطح المحدب بدلا من إتباع خط مستقيم في إتجاهه الأصلي، كما هو مصور في الشكل **112**.

ويمكن توضيح ذلك كالأتى. عند وضع ظهر ملعقة في مسار ماء متدفق بحرية من صنبور فإن الماء المتدفق سوف ينحرف رأسياً ملامساً لظهر الملعقة مكون مسار منحنى للماء المتدفق بدلاً من أستمرار تدفقة في خط مستقيم، وهذا يكون ناتج عن تأثير كواندا.
تم تسمية هذا التأثير على أسم المخترع الرومانى هنرى كواندا، أول من أدرك الأهمية العملية لهذه الظاهرة في تطوير الطائرات. أنجز هنرى كواندا هذا الإكتشاف أثناء التجارب على الطائرة كواندا **1910**، والتى كانت الطائرة الأولى التى تعتمد على نوع مبكر من المحركات النفاثة.



الشكل **112**: (على اليمين) عرض لتأثير كواندا بإستخدام ملعقة وماء متدفق، (على اليسار) رسم تخطيطى للتأثير.

حصل هنري كواندا على براءة إختراع عام **1934** في فرنسا بعنوان "طريقة وجهاز لإنحراف السائل إلى سائل الآخر". أما ما يعرف اليوم بتأثير كواندا فقد وصف بواسطة مكتشفه كإنحراف نفاث سائل يخترق سائل الآخر على مقربة من حائط محدب.

لتأثير كواندا تطبيقات مهمة في أدوات الرفع العالية المختلفة على الطائرة، حيث يمكن للهواء المتحرك فوق الجناح أن "ينحني لأسفل" نحو الأرض بإستخدام الخفاقات والنفخ النفاث على سطح منحنى. يولد تدفق الهواء من محرك نفاث عالي السرعة، مثبت في أخدود مستقيم (جراب) على الجناح، تحسن في الصعود خلال عملية الخلط العاصف التي لا تحدث فوق الجناح الطبيعي.

تم تنفيذ هذه الفكرة بشكل عملى لأول مرة في مشروع **AMST** للقوة الجوية الأمريكية. تم بناء عدة طائرات، بشكل خاص البوينغ **YC-14** (أول نوع حديث إستغل هذا التأثير)، للإستفادة من هذا التأثير، عن طريق تركيب مراوح نفاثة على قمة الجناح للإمداد بهواء سريع حتى عند سرعات الطيران المنخفضة. لكن حتى الآن دخلت طائرة واحدة فقط حيز الانتاج بإستعمال هذا النظام بدرجة رئيسية، وهى طائرة الأنتينوف **An-72**.

يعتبر الإستعمال العملي المهم لتأثير كواندا هو السواتر الهيدروليكية المائلة، التي تمنع

النفايات و ما شابهها من الدخول إلى التوربينات. بسبب الميل، يسقط الحطام من السواتر دون الحاجة إلى تنظيف ميكانيكي، ونظراً لأسلاك الساتر التى تضبط تأثير كواندا فإن الماء يتدفق عبر قنوات خاصة إلى التوربين.

في مكيفات الهواء، يستغل تأثير كواندا لزيادة رمية السقف المثبت في الموزع. وبما أن تأثير كواندا يسبب تفريغ الهواء من الموزع إلى السقف، فإن الهواء يسافر مسافة أبعد قبل الهبوط إلى نفس سرعة التفريغ إذا تم تثبيت الموزع في الهواء الحر بدون سقف مجاور. في حالة أنظمة المكيفات ذات حجم الهواء المتغير (VAV) فإن سرعة التفريغ المنخفضة تعنى مستويات منخفضة للضوضاء، الأمر الذى يسمح بتفخيض معدلات الدوران.

تأثير كوتون Cotton effect

إن تأثير كوتون هو التغير المميز في التفرق الدائري الضوئى بالقرب من شريط الإمتصاص للمادة.

تأثير كوربينو Corbino effect

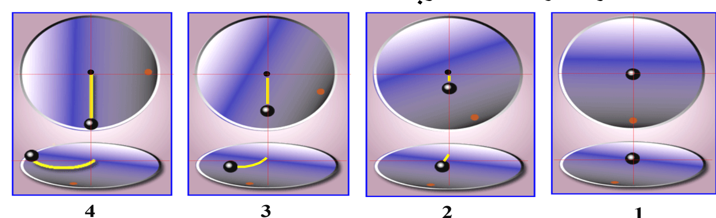
إن تأثير كوربينو هو ظاهرة مشابهه لتأثير هول، لكن يتم إستخدام عينة معدنية على هيئة قرص بدلاً من العينة المستطيلة. يخضع التيار الشعاعي (القطرى) خلال القرص الدائري لمجال مغناطيسي عمودي إلى مستوى القرص، ويتولد تيار" دائري " خلال القرص. أرجع أيضا لتأثيرات هول.

تأثير كوريااليس Corialis effect

إن تأثير كورياليس هو عبارة الإمالة الظاهرية لحركة الجسم الخطية في هيكل إسناد دوار، بمعنى أن المشاهد الذى يتحرك في مسار دائرى يرى الحركة الخطية وكأنها حركة في مسار منحنى أو العكس صحيح. يبين الشكل **113** عرض لهذا المفهوم. ينسب هذا التأثير أحيانا إلى قوة كورياليس الخيالية.

يعتبر تأثير كورياليس، الذى يسببه دوران الأرض، هو المسئول عن سبق (تقدم) بندول فوكولت وعن دوران إتجاه الأعاصير. بشكل عام، يحرف التأثير الأجسام المتحركة على طول سطح الأرض إلى يمين إتجاه السفر في نصف الكرة الأرضية الشمالية وعلى يسار

إتجاه السفر في نصف الكرة الأرضية الجنوبية. يترتب على ذلك، أن الرياح حول مركز الإعصار يدور بعكس عقارب الساعة في نصف الكرة الأرضية الشمالية وبإتجاه عقرب الساعة في نصف الكرة الأرضية الجنوبية.



الشكل **113**: عرض لتأثير كورياليس. في هيكل إسناد الزخم (الجزء العلوى من الصور يدور ضد عقارب الساعة)، تكون الجسم الأسود في خط مستقيم. لكن، يرى المراقب (نقطة حمراء) الذي يقف في هيكل الإسناد الدائرى (جزء ألسفلى من الصور) حركة الجسم كما لو كانت مسار منحنى.

تم تسمية هذا التأثير على إسم العالم الفرنسي جاسبارد غوستاف كورياليس، الذي وصفه في عام **1835**، ومع ذلك فقد ظهر في معادلات لابلاس للمد في عام **1778**. وفيما يلى سنلقى مزيد من الضوء على الشكل الرياضى وأسباب هذا التأثير.

يمكن كتابة عجلة كورياليس على الصورة،

$$\mathbf{a}_C = -2\,\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}$$

حيث $\mathbf{V}$ سرعة الجسيم في النظام الدوار، و $\boldsymbol{\omega}$ متجه السرعة الزاوية (الذى له مقدار يساوى معدل الدوران ويكون موازى لمحور الدوران) للنظام الدوار. يمكن ضرب هذه المعادلة في كتلة الجسم المعنى للحصول على قوة كوريالس على الصورة،

$$\mathbf{F}_C = -2m(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V})$$

نظرية القوة الوهمية (التخيلية) للحصول على الإستنتاج. لاحظ أن الضرب هو ضرب إتجاهى. وبدلالة غير المتجهات، نجد أنه عند معدل دوران معين للمراقب فإن مقدار عجلة كوريالس للجسم سوف تتناسب مع سرعة الجسم وأيضاً مع جيب الزاوية بين إتجاه حركة الجسم ومحور حركة الجسم.

إن تأثير كورياليس هو السلوك المضاف بواسطة عجلة كوريالس. تشير المعادلة ضمنياً إلى أن تعجيل كوريالس يكون عمودي على كل من إتجاه سرعة الكتلة المؤثرة وعلى محور الدوران. لذلك و بشكل خاص:

- إذا كانت السرعة موازية لمحور الدوران، فإن عجلة كوريالس تكون صفر.
- إذا كانت السرعة خطية نحو المحور مباشرة، فإن العجلة تكون إتجاه الدوران

الموضعى.

- إذا كانت السرعة خارجة مباشرة من المحور، فإن العجلة تكون ضد إتجاه الدوران الوضعى.
- إذا كانت السرعة في إتجاه الدوران الموضعى، فإن العجلة تكون خارجة من المحور.
- إذا كانت السرعة في إتجاه ضد الدوران الموضعى، فإن العجلة تكون داخلة إلى المحور.

تستعمل الصيغ السابقة الترميز المتجهى، وتعطي كل من مقدار و إتجاه تأثير كورياليس. في بعض الحالات الخاصة قد يكون التعبير القياسى كافياً، إذا كان الإتجاه مستنتجاً. في حالة الحركة المحددة بمستوى عمودى على محور الدوران، مثل قرص دوار، فإن مقدار العجلة تعطى بالصيغة،

$$a_C = 2\omega\upsilon$$
.

في حالة الديناميكا الجوية، تكون عجلة كوريـاليس مهمة فقط في المعادلات الأفقية، بسبب مقياس الطول القصير في الإتجاه العمودي. لكن لايكون المستوى الأفقى عمودياً بشكل عام على محور الدوران. عندئذ يكون مقدار المركبة الأفقية للعجلة هو،

$$a_C = f\,\upsilon$$

حيث $f = 2\omega\sin(\phi)$ ، (حيث ϕ هو خط العرض)) ويسمى بارامتر كوريـاليس و υ المركبة الأفقية للسرعة. فيما يلى سنتطرق إلى أسباب تأثير كوريـاليس.

يتواجد تأثير كوريـاليس عند إستعمال إطار مرجعى دوار. يستنتج هذا التأثير رياضيا من قانون القصور الذاتي، لذلك هو لا يقابل أي تعجيل أو قوة فعلية، لكن فقط ظهوره من وجهة نظر النظام الدوار. يمكن تفسير تأثير كوريـاليس على أنه عبارة عن مجموع تأثيرات ناتجة عن سببين مختلفين متساويين في المقدار.

إن السبب الأول هو تغير السرعة مع الزمن. سوف ترى نفس السرعة (في هيكل إسناد الزخم حيث تنطبق القوانين الطبيعية للفيزياء) كسرعة مختلفة في الأوقات المختلفة في هيكل الإسناد الدوار. إن التعجيل الظاهر يتناسب مع السرعة الزاوية (المعدل الذى به يغير المحور إتجاه)، ومع السرعة. هذا يعطي الحد $-\boldsymbol{\omega}\times\mathbf{V}$. تنجم الإشارة السالبة عن حقيقة أن التأثير يفسر بواسطة هيكل الإسناد الدوار. في غياب أي قوة، فإن الجسم سيظهر كما لو كان معجل في إتجاه عكس إتجاه الدوران.

إن السبب الثاني هو تغير السرعة في الفضاء، بمعنى أن للنقاط المختلفة في الإطار

المرجعى الدوار لها سرعات مختلفة (كما ترى من قبل هيكل إسناد الزخم). لكي يتمكن جسم من التحرك في خط مستقيم جب أن يكون معجل بحيث تتغير سرعته من نقطة إلى نقطة بنفس الكمية مثل سرعات هيكل الإسناد. يتناسب التأثير مع السرعة الزاوية (التي تقرر السرعة النسبية من نقطتين مختلفتين في هيكل الإسناد الدوار)، وسرعة الجسم العمودية على محور الدوران (التي تحدد إلى أى مدى تتحرك بسرعة بين تلك النقاط). هذا المفهوم يعطي أيضا العلاقة، $-\omega \times \mathbf{V}$.

تأثير كوزاى Kozai effect

في الميكانيكا السماوية، آلية كوزاى هي تأثير إضطرابى علمانى يؤدي إلى تغييرات دورية للا مركزية ولميل مدار الجسم المضطرب.

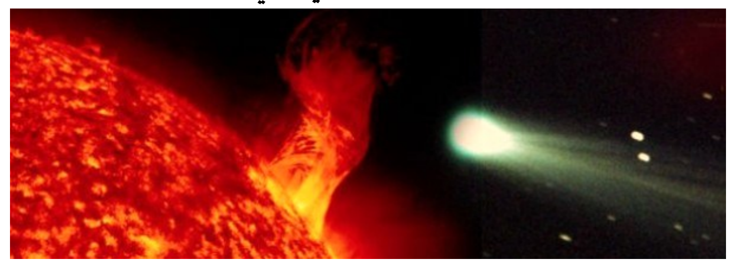
تم وصف هذا التأثير في عام **1962** بواسطة يوشيهيدى كوزاى عند تحليل مدارات الكويكبات. منذ ذلك الحين فقد وجد أن رنين كوزاى هو عامل مهم في تشكيل المدارات في النظام. فيما يلى سنلقى مزيدا من الضوء على زنين كوزاى.

بالنسبة لجسم له محور نصف رئيسي a ، ولا–مركزية e ، وميل i ، فإنه نسبة إلى مدار الجسم الأكبر المسبب للإضطراب فإن قيمة الكمية $\sqrt{(1-e^2)}\cos i$ تكون محافظة. ولذلك، من الممكن أن تؤدي الإضطرابات إلى رنين بين الميل ولا-مركزية المدار. قرب الدائرى، تستطيع المدارات ذات الميل الكبير أن تصبح لا-مركزية جدا. على سبيل المثال، يمكن لمثل هذه الآلية أن تنتج مذنبات راعية الشمس (**Sun-grazing comets**، يطلق هذا مصطلح على المذنبات الذي تمر بقرب شديد من الشمس . يكون إقتراب المذنب في مرحلة الحضيض كبير في بعض الأحيان ضمن بضعة آلاف من الكيلومترات من سطح الشمس. على الرغم من أن المذنبات الصغيرة يمكن أن تتبخر تماما خلال هذا الإقتراب الشديد من الشمس، يمكن للمذنبات الأكبر النجاة والدخول في الحضيض بشكل متكرر. و مع ذلك ،فأن قوى التبخر و قوى المد والجزر ستؤدي في النهاية الى تفكك المذنب. يبين الشكل **114** صورة لاحد المذنبات الراعية للشمس).

في الحالة النموذجية، بالنسبة للأجسام على مدارات الميل الصغيرة، يؤدي الإضطراب إلى سبق حضيض المركز. عند البدأ بقيمة ما للزاوية، فإن السبق يستبدل بترر حول 90^{o} أو 270^{o} ، وبمعنى آخر: يتم دفع حضيض المركز للتذبذب حول أحد هذه القيم. تسمى أقل زاوية ميل مطلوبة بزاوية كوزاى وتعطى بالعلاقة،

$$\arccos\left(\sqrt{\frac{3}{5}}\right) \approx 39.2^{o}$$

في حالة الأقمار الصناعية التراجعية، تكون الزاوية هي 140.8^{o}.



الشكل **114**: صورة لاحد المذنبات الرعية للشمس.

من الناحية الفيزيائية، يتعلق التأثير بنقل الزخم الزاوي: إن تعبير " المحافظ " هو في الحقيقة المركبة الطبيعية للزخم الزاوي (أنظر أيضاً تكامل جاكوبي و علاقة تيسيراند).

يضع رنين كوزاى ضوابط على المدارات المحتملة خلال النظام، على سبيل المثال:-

في حالة الأقمار المنتظمة: إذا كان مدار قمر الكوكب يميل بشكل كبير على مدار الكوكب فإن لا مركزية مدار القمر سوف تزداد حتى، في المنظور القريب، يتحطم القمر بقوى المد.

في حالة الأقمار غير المنتظمة: كما سبق، سوف يؤدى تزايد اللا-مركزية إلى الإصطدام مع القمر المنتظم، الكوكب، أو بدلا عن ذلك، فإن البعد المتزايد عن المركز قد يدفع القمر الصناعي خارج الكرة الحاجزة. يعتقد الآلية تنتج أيضاً مذنبات راعية الشمس.

تأثير كومبتون Compton Effect

في مجال الفيزياء، تأثير أو تبعثر كومبتون، هو عبارة عن التناقص في طاقة (زيادة في طول الموجة) الاشعة السينية أو فوتون إشعاع جاما، عندما يتفاعل مع المادة. يوجد أيضاً تبعثر كومبتون المعكوس، حيث يكتسب الفوتون طاقة (نقص في طول الموجة) خلال التفاعل مع المادة. يسمى مقدار الزيادة في طول الموجة بإزاحة كومبتون.

بالرغم من وجود تعثر كومبتون نووي، إلا أن تبعثر كومبتون يشير في العادة إلى التفاعل الذى يشتمل فقط على إلكترونات ذرة ما. لوحظ تأثير كومبتون بواسطة آرثر هولي كومبتون في عام **1923** وتحقق فيما بعد بواسطة تلميذه واي اتش واو (**Y. H. Woo**.) حصل آرثر كومبتون على جائزة نوبل عام **1927** في الفيزياء على هذا

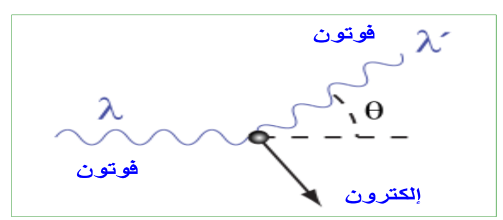
الإكتشاف.

إن تأثير كومبتون تأثير مهم لأنه يبين أن الضوء لا يمكن تفسيره بشكل تام على أنه ظاهرة موجية فقط. لا يستطيع تبعثر طومسن (النظرية الكلاسيكية للجزيئات المشحونة المبعثرة بواسطة موجة كهرو-مغناطيسية) تفسير أى إزاحة في طول الموجة. يجب أن يتصرف الضوء كما لو كان مكون من جسيمات للتمكن من تفسير تبعثر كومبتون. أقنعت تجربة كومبتون الفيزيائيين بأن الضوء يمكن أن يتصرف كسيل من الجسيمات التى تتناسب طاقته مع التردد.

يؤدى التفاعل بين الفوتونات العالية الطاقة والإلكترونات إلى إكتساب الإلكترون جزء طاقة (يجعله يرتد)، وبعث فوتون يحتوي على الطاقة الباقية في إتجاه مخالف للإتجاه الأصلى، بحيث يكون الزخم العام للنظام محفوظاً. إذا ما تبقت للفوتون طاقة كافية، فإن العملية قد تتكرر.

يحدث تبعثر كومبتون في كل المواد بالدرجة الأولى بواسطة فوتونات متوسطة الطاقة، بمعنى آخر، من حوالي **0.5** إلى **3.5** مليون إلكترون فولت. ومن الملاحظ أيضا أن الفوتونات العالية الطاقة؛ فوتونات الضوء المرئي أو فوتونات التردد الأعلى، على سبيل المثال، لها طاقة كافية حتى لطرد إلكترونات المقيدة من الذرة (التأثير الكهرو-ضوئي). وفيما يلى سنلقى مزيد من الضوء على هذه الظاهرة وبعض التطبيقات العملية لها.

في تأثير كومبتون يتفاعل فوتون الجاما مع إلكترون مدارى في الذرة وينتقل جزء من طاقة الفوتون إلى الإلكترون وينبعث الإلكترون من الذرة و يتشتت فوتون الجاما بطاقة أقل. لإستنتاج إزاحة كومبتون نفترض فوتون بطول موجى λ يأتى من اليسار (الشكل **115**)، ويصطدم مع الهدف الموجود عند السكون وينبعث فوتون جديد له طول موجى λ' بزاوية θ.



الشكل **115**: مخطط توضيحى لتأثير (تبعثر) كومبتون.

إستعمل كومبتون مجموعة من ثلاث صيغ أساسية تمثل السمات المختلفة للفيزياء الكلاسيكية والحديثة، ودمجها معاً لوصف السلوك الكمي للضوء. **1**- ضوء كجسيم،

كما لوحظ سابقا في التأثير الكهروضوئي. **2**- نظرية الديناميكا النسبية (نظرية النسبية الخاصة). **3**- علم حساب المثلثات - قانون جيب التمام.

تعطى النتيجة النهائية معادلة تأثير كومبتون على الصورة،

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

حيث λ هو الطول الموجى للفوتون قبل التبعثر، λ' الطول الموجى للفوتون بعد التبعثر، m_e هي كتلة الإلكترون، $h/m_e c = 2.43\times10^{-12}$ m ثابت يسمى طول موجة كومبتون وهو طول موجى كمي مميز مصاحب للإلكترون، θ زاوية تشتت الفوتون، h ثابت بلانك، و c سرعة الضوء.

يعتبر تبعثر كومبتون من الأهمية الأساسية في مجال البيولوجيا الإشعاعية، حيث أن حدوثه يعتبر التفاعل الأكثر إحتمالا للأشعة السينية ذات الطاقة العالية مع النوى الذرية في الكائنات الحية وتم تطبيقه في العلاج بالإشعاع.

أحياناً يتم إقتراح تبعثر كومبتون كبديل لتفسير ظاهرة الإزاحة الحمراء من قبل معارضى نظرية الضربة الكبرى، بالرغم من أن هذا ليس مقبول بشكل عام، لأن تأثير تبعثر كومبتون سيكون ملحوظاً في الخطوط الطيفية للأجسام البعيدة وهذا ما لم يتم ملاحظته. في الفيزياء المواد، كما يمكن إستعمال تبعثر كومبتون لجس دالة الموجة للإلكترونات في المادة في تمثيل الزخم. هذا بالإضافة إلى أن تبعثر كومبتون يعتبر تأثير مهم في مطيافية الجاما، التى تسبب حافة كومبتون، عندما يحتمل أن تتبعثر أشعة جاما خارج الكوشف المستعملة. يستعمل إخماد كومبتون لإكتشاف التبعثر الضال لأشعة جاما لإبطال هذا التأثير.

تأثير كومبتون المعكوس Inverse Compton Effect

يعتبر تأثير (تبعثر) كومبتون المعكوس تأثيراً مهماً في مجال الفيزياء الفلكية. في علم فلك الاشعة السينية، يعتقد أن قرص النمو المحيط بالثقب الإسود يولد طيف حراري. تتبعثر الفوتونات الأقل طاقة المتولدة هذا الطيف إلى طاقات أعلى بواسطة إلكترونات النسبية في الهالة المحيطة. يعتقد أن هذا يسبب مركبة قانون الرتبة في أطياف الاشعة السينية (**0.2** - **10** كيلوفولت) للثقوب السوداء النامية.

يتم ملاحظة هذا التأثير أيضا عندما تتحرك فوتونات خلفية المايكرويف الكونية

(CMB) خلال الغاز الساخن المحيط بالمجرة العنقودية. تتبعثر فوتونات الـ CMB إلى الطاقات الأعلى بواسطة الإلكترونات الموجودة في هذا الغاز، الأمر الذى يؤدي إلى تأثير صناييف زيلدوفيتش (Sunyaev Zel'dovich).

تأثير كوندو Kondo Effect

طبقا لتأثير كوندو، فإن المقاومة الكهربية تتباعد عند الإقتراب من درجة الحرارة الصفر المطلق. من المعروف أن المقاومة النوعية للمعادن تتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة. وعند التعبير بدقة عن هذا الإعتماد، فإنه يمكن كتابة إعتماد المقاومة النوعية على درجة حرارة المقاومة (بما في ذلك تأثير كوندو) على الصورة،

$$\rho(T) = \rho_o + aT^2 + c_m \ln\frac{\mu}{T} + bT^5$$

حيث ρ_0 هي المقاومة المتبقية. يبين المقدار aT^2 المساهمة من خصائص فيرمى للسائل، و الحد aT^5 هو شكل تذبذبات الشبيكة.

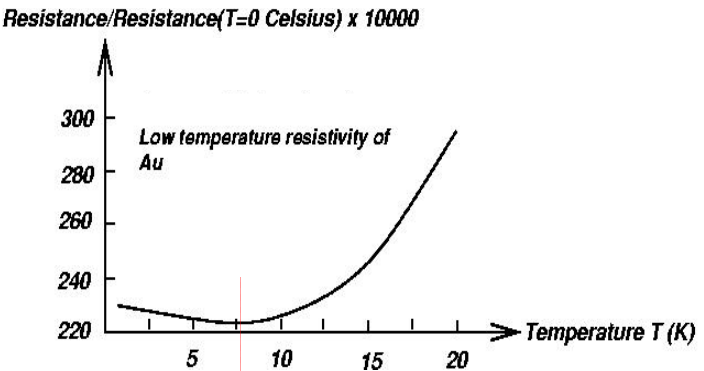
إشتق جون كوندو الحد الثالث في المعادلة السابقة وهو حد يبين إعتماد لوغاريتمى للمقاومة النوعية على درجة الحرارة. لاحقاً نقيت الحسابات هذه النتيجة للحصول على مقاومة نوعية محددة مع الإحتفاظ بالنهاية الصغرى للمقاومة عند درجة حرارة تسمى درجة حرارة كوندو وتكون قريبة من درجة حرارة الصفر المطلق، الشكل **116**. تعرف درجة حرارة كوندو واحد كمقياس الطاقة، يحدد صلاحية نتائج كوندو. كان نموذج أندرسن ونظرية إعادة تطبيع المصاحبة من المساهمات المهمة لفهم الفيزياء الأساسية للمشكلة. يبين الشكل **116** إعتماد مقاومة الذهب مع كمية صغيرة من شوائب الحديد على درجات الحرارة المنخفضة.

في الشكل الأكثر تعقيدا، تقع الحرية المقاربة تحت نظرية ديناميكا الكم اللونية، أو ما

يعتبر تأثير كوندو هو أول مثال معروف للحرية المقاربة (زيادة التجاذب بإزدياد المسافة بين الكواركات، asymptotic freedom) في الفيزياء، والذي يصبح الإزدواج فيه غير إضطرابى عند درجات الحرارة المنخفضة والطاقات المنخفضة. في مشكلة كوندو، يشير هذا إلى التفاعل بين الشوائب المغناطيسية المحلية والإلكترونات المتجولة.

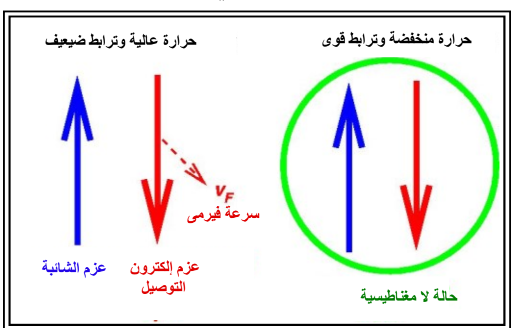
يسمى بالقوة النووية القوية لكي تتفاعل الكواركات (المكونات الأساسية للمادة النووية) بشكل ضعيف عند الطاقات العالية وبشكل قوى عند الطاقات المنخفضة، مما يمنع

حل الباريونات (مثل البروتونات أو النيوترون مع ثلاثة كواركات) أو الميزونات (البوزونات مثل البويونات مع كواركين إثنين) ، الجسيمات المركبة للمادة النووية. تقاسم فرانك ويلزيسك و ديفيد جروس و ديفيد بوليتزير جائزة نوبل عام **2004** في الفيزياء على هذا الإكتشاف.



الشكل **116**: إعتماد مقاومة الذهب مع كمية صغيرة من شوائب الحديد على درجات الحرارة المنخفضة.

يبين الشكل **117** مخطط توضيحي لحالة درجة حرارة عالية ضعيفة الترابط، التي يمر فيها العزم المغناطيسي من إلكترونات توصيل في المضيف المعدني من أمام العزم المغناطيسي للشائبة في بسرعة فيرمي، υ_F، ويعانى فقط من إرتباط ضد حديدومغناطيسة معتدل على مقربة الشائبة. على النقيض من ذلك، عند إقتراب درجة الحرارة من الصفر، فإن عزم الشائبة المغناطيسي و عزم إلكترون توصيل واحد يرتبطا بقوة كبيرة جدا لتشكيل حالة عامة غير مغناطيسية.



الشكل **117**: مخطط توضيحي لتحول لحالة درجة حرارة عالية ضعيفة الترابط، حالة غير مغناطيسية.

وعند أخذ الشوائب المغناطيسية للشبيكة في الإعتبار، فإن تأثير كوندو يعتقد بشكل ضمنى تكون الفيرميونات الثقيلة في المركبات المعدنية المستندة بوجه خاص على

العناصر الأرضية النادرة، مثل البرازيوديوم، السيريوم، و الأوتربيوم، و العناصر الأكتينية مثل اليورانيوم. في هذه المواد، يؤدى النمو غير المضطرب للتفاعل إلى شبه-إلكترونات لها كتلة تصل ألاف المرات مثل كتلة الإلكترون الحر، بمعنى أن الإلكترونات قد هدأت بشكل مأساوى بواسطة التفاعلات. في عدد من الحالات كانت هذه المواد في الحقيقة موصلات فائقة. مؤخراً، يعتقد أن توضيح تأثير كوندو يكون ضرورى لفهم مرحلة الدلتا المعدنية الغير عادية للبلوتونيوم.

تأثير كير Kerr Effect

يعتبر تأثير كير تأثير قريب الصلة من ظاهرة الدوران التى إكتشفها العالم فاراداي والذى تم إكتشافه في الحقيقة قبل ذلك بواسطة العالم كير. تم إكتشاف تأثير كير على يد الفيزيائى الإستكلندى جون كير في عام **1875** م. وجد كير أنه عند إنعكاس الضوء المستقطب على سطح قطب مغناطيسي ناعم (مصقول) فإن مستوى إستقطاب الشعاع الضوئى يدور. أنظر أثر فاراداي.

في العادة يتم إعتبار حالتين خاصتين من تأثير كير هما: تأثير كير الكهروضوئي، (أو تأثير كير المستمر)، وتأثير كير الضوئى (أو تأثير كير المتردد).

تأثير كير الضوئى Optical Kerr Effect

إن تأثير كير الضوئى (أو تأثير كير المتردد) هي الحالة التي يتولد مجال كهربي في المادة بسبب الضوء نفسه. يسبب هذا تغيراً في معامل الإنكسار وهذا التغير يتناسب مع شدة الإضاءة الموضعية للضوء. يكون هذا التغير في معامل الإنكسار هو المسؤول عن التأثيرات الضوئية اللاخطية مثل: التركيز الذاتى والتضمين الذاتى للطور، كما ويكون الأساس لعدسة كير لغلق النمط. يصبح هذا التأثير مهما فقط في حالة الأشعة الحادة جدا مثل أشعة الليزر.

في تأثير كير الضوئى، من الممكن يولد الشعاع الحاد من الضوء في وسط بذاته مجال كهربي تضمينى (معدل)، دون الحاجة إلى تطبيق مجال خارجي. في هذه الحالة، يعطى المجال الكهربي بالعلاقة،

$$E = E_{\omega} \cos(\omega t)$$

حيث E_{ω} سعة متجه الموجة. وبدمج هذه امعادلة مع معادلة الإستقطاب وأخذ

الحدود الخطية فقط والحدود التى تحتوى على $\chi^{(3)}|E_\omega|^3$ نحصل على،

$$\mathbf{P} \cong \varepsilon_0\left(\chi^{(1)} + \frac{3}{4}\chi^{(3)}|\mathbf{E}_\omega|^2\right)\mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

تبدو هذه المعادلة كعلاقة خطية للتقبلية المغناطيسية مع حد إضافي لا خطى، أى أن:

$$\chi = \chi_{\mathrm{LIN}} + \chi_{\mathrm{NL}} = \chi^{(1)} + \frac{3\chi^{(3)}}{4}|\mathbf{E}_\omega|^2$$

بالتالى يمكن كتابة،

$$n = (1+\chi)^{1/2} = (1+\chi_{\mathrm{LIN}}+\chi_{\mathrm{NL}})^{1/2} \cong n_0\left(1+\frac{1}{2n_o^{\,2}}\chi_{\mathrm{NL}}\right)$$

حيث $n_0 = (1+\chi_{\mathrm{NL}})^{1/2}$ هو معامل الإنكسار الخطى. بإستخدام مفكوك تيلور حيث أن $\chi_{\mathrm{NL}} << n_0^{\,2}$ ، نحصل على شدة معامل الإنكسار التابع (IDRI) على الصورة،

$$n = n_0 + \frac{3\chi^{(3)}}{8n_0}|\mathbf{E}_\omega|^2 = n_0 + n_2 I$$

حيث n_2 هو معامل الإنكسار غير الخطى من الرتبة الثانية، I هو شدة الموجة. هكذا نجد أن التغير في معامل الإنكسار يتناسب مع شدة الضوء المنتقل خلال الوسط.

تكون قيم n_2 صغيرة نسبيا في أغلب المواد، وفي حدود $10^{-20}\ \mathrm{m^2W^{-1}}$ للزجاج النموذجى. لهذا تلزم شدة شعاع (إضاءة) في حدود $1\ \ \mathrm{GWm^{-2}}$ (مثل المتولدة بالليزر) لتوليد تغيرات ملحوظة في معامل الإنكسار بواسطة تأثير كير المتردد.

يفصح تأثير كير الضوئى عن نفسه بشكل مؤقت في صورة تضمين طور – ذاتى، إزاحة طور مستحث-ذاتى، أو إزاحة تردد مستحثة-ذاتية لنبضة الضوء عند سفرها خلال الوسط. تستطيع هذه العملية، سوية مع عملية التفرق، أن تنتج مويجات ضوئية منعزلة (أو سوليتونات والسوليتون هو موجة ذاتية التعزيز الانفرادي التي تحافظ على شكلها في الوقت الذي يسافر بسرعة ثابتة.

بشكل مكاني، سوف يولد الشعاع الحاد من الضوء في الوسط تغير في معامل إنكسار الوسط الذي يحاكى نمط الكثافة المستعرضة للشعاع. على سبيل المثال يؤدي الشعاع الجاوسى إلى منظر (مخطط) معامل إنكسار جاوسى مشابه لنظيره في حالة العدسة ذات معامل الإنكسار المتدرج. هذا يجعل الشعاع يركيز نفسه، وهي الظاهرة المعروفة بالتركيز

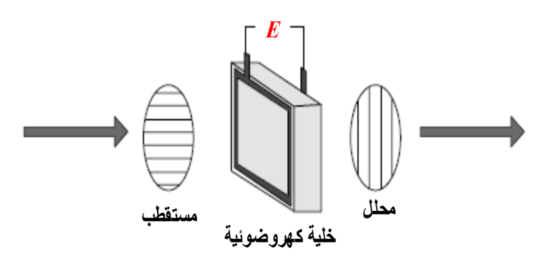
الذاتي. للمزيد من المعلومات إرجع إلى تأثير جيفرى، وإنتشار الفتيلة.

تأثير كير الكهروضوئي Kerr electrooptic effect

يوجد عدد من البلورات التي تبين إنكسار مزدوج فقط عند تطبيق مجال كهربي خارجي. تسمى هذه الظاهرة بتأثير كير الكهروضوئي، والتى قد تستعمل كما في حالة المفتاح - Q لمنع شعاع الضوء الضمنفجوة (بمعنى،الواقع ضمن فجوة). يمكن أن يستعمل تأثير كير الكهروضوئي أيضاً لحرف الأشعة. يبين الشكل **118** تركيب مضمن (معدل) كهروضوئي يستخدم هذا التأثير.

إن تأثير كير الكهروضوئي (أو تأثير كير المستمر) من الرتبة الثانية (تأثير QEO) هو التغير الناتج في معامل إنكسار المادة كإستجابة لتطبيق مجال كهربي. يختلف هذا التأثير عن تأثير بوكليت في أن التغير الناتج في معامل الإنكسار يتناسب طردياً مع مربع شدة المجال الكهربي بدلاً من شدة المجال فقط. تظهر كل المواد تأثير كير، لكن بعض السوائل تظهر التأثير بقوة أكثر مما تفعلة المواد الأخرى. كما يمكن القول بان تأثير كير الكهروضوئي هو الحالة الخاصة التي يتم فيها تغير المجال الكهربائي الخارجي ببطئ بواسطة، على سبيل المثال، تطبيق جهد على الأقطاب الكهربية عبر المادة. تحت تأثير امجال المطبق، تكتسب المادة خاصية الإنكسار المزدوج، مع معاملات أنكسار مختلفة للضوء المستقطب متوازيا لـ أو عمودي على المجال المطبق. يعطى التغير في معامل الإنكسار Δn بالعلاقة،

$$\Delta n = \lambda K E^2$$



الشكل **118**: مخطط يبين تركيب مضمن كهروضوئي.

حيث λ الطول الموجي للضوء، K هو ثابت كير، و E سعة المجال الكهربي. يجعل هذا الفرق في معامل الإنكسار المادة تتصرف كلوح موجي عند سقوط الضوء عليها في إتجاه عمودى عل المجال الكهربي. عند وضع المادة بين زوج من المستقطبات الخطية المتعامدة فإن الضوء سوف لا يمر عند إطفاء المجال الكهربي، بينما سيمر كل الضوء تقريباً عند قيمة معينة للمجال. تسمح القيم الأعلى لثابت كير بتحقيق المرور الكامل

للضوء عند قيم أقل للمجال الكهربي المطبق.

في حالة المادة اللا-خطية، فإن مجال الإستقطاب الكهربي **P** سوف يعتمد على المجال الكهربي **E** طبقاً للعلاقة،

$$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi^{(1)} \mathbf{E} + \varepsilon_0 \chi^{(2)} \mathbf{EE} + \varepsilon_0 \chi^{(3)} \mathbf{EEE} + ...$$

حيث ε_0 سماحية الفراغ، و $\chi^{(n)}$ المركبة رقم n للقابلية الكهربية للوسط. بالنسبة للوسط الخطى، فإن الحد الأول من هذه المعادلة فقط يكون مهماً، ويتغير الإستقطاب يتفاوت بشكل خطي مع المجال الكهربي. وبالنسبة للمواد التى تظهر تأثير كير غير-مهمل، فإن الحد الثالث ($\chi^{(3)}$) يكون مهماً، و تتلاشى حدود الرتب بسبب التناظر المعكوس لوسط كير في الحالة النموذجية.

إن محصلة المجال الكهربي **E** المتولدة بواسطة موجة الضوء ذات التردد ω معاً مع المجال الكهربي الخارجي $\mathbf{E_0}$ تعطى بالعلاقة،

$$\mathbf{P} = \mathbf{E}_0 + \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

حيث $\mathbf{E}_\omega$ هي سعة متجه الموجة. بدمج المعادلتين نحصل على تعبير معقد لمجال الإستقطاب الكهربي **P**. بالنسبة لتأثير كير المستمر، يمكن إهمال كل الحدود ماعدا الحدود الخطية وحدود المقدار $\chi^{(3)}|\mathbf{E}_0|^2 \mathbf{E}_\omega$ ، وبالتالى نحصل على،

$$\mathbf{P} \cong \varepsilon_\mathbf{0} \left(\chi^{(\mathbf{1})} + 3\chi^{(\mathbf{3})} |\mathbf{E}_0|^\mathbf{2} \right) \mathbf{E}_\omega \cos(\omega t)$$

وهى علاقة شبيهه بالعلاقة الخطية بين الإستقطاب والمجال الكهربي للموجه، مع حد غير خطى إضافي للقابلية المغناطيسية يتناسب مع مربع سعة المجال الخارجى.

بالنسبة للوسط غير-المتماثل (مثل السوائل)، فإن هذا التغير المستحث يولد تغير في معامل الإنكسار في إتجاه المجال الكهربي على الصورة،

$$\Delta \mathbf{n} = \lambda_\mathbf{0} K |\mathbf{E}_0|^\mathbf{2}$$

حيث حيث λ_0 الطول الموجى للضوء في الفراغ، K ثابت كير للوسط. يولد المجال المطبق إنكسار مزدوج في الوسط في إتجاه المجال. بالتالى، من الممكن أن تعمل خلية كير مع مجال مستعرض كلوح موجى قابل للتحول، تدير مستوى إستقطاب الموجة المنتقلة خلاله. بإضافة مستقطبات، يمكن إستخدامها كغالق (درفه) أو معدل. تعتمد قيم K على الوسط وتتراوح بين $9.4 \times 10^{-14}\ \mathrm{mV^{-2}}$ للماء و $4.4 \times 10^{-14}\ \mathrm{mV^{-2}}$ للنيتروبنزين.

تأثير كير المغنيطوضوئي Kerr magneto optic effect

تأثير كير المغنيطوضوئي هو أحد التأثيرات المغنيطوضوئية. يصف هذا التأثير تغييرات إنعكاسات الأوساط المغنطة. إن هذا التأثير شبه تأثير فاراداي والذى يشير إلى تغير إستقطاب الضوء الذى ينتقل في وسط عند إنعكاسة من سطح ممغنط مصقول .

يمكن تصنيف تأثير كير المغنيطوضوئي بشكل أبعد بواسطة إتجاه متجه التمغنط، فيما يتعلق بسطح الإنعكاس ومستوى السقوط كما يلى. عندما يكون متجه التمغنط عمودي على السطح وموازي لمستوى السقوط، فإن التأثير يسمى تأثير كير القطبي. لتبسيط التحليل، عادة يتم إستخدام السقوط شبه العمودى عند عمل تجارب في الترتيب القطبي. في التأثير الطولي، يكون متجه التمغنط موازياً لكل من سطح الإنعكاس ومستوى السقوط. عندما يكون التمغنط عمودي على مستوى السقوط وموازيا للسطح يقال أن الترتيب مستعرض.

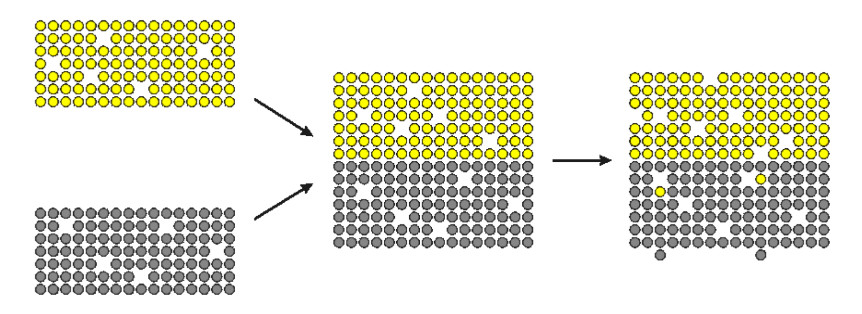
تأثير كيركندال Kirkendall effect

بالرغم من أن هذا التأثير يتداول بشكل أساسى في مجال الكيمياء الهندسية إلا أنه مهماً أيضاً في مجال علوم المواد. تأثير كيركندال هو هجرة العلامات (المؤشرات أو الدلالات، أو الشوائب) من السطح البينى إلى السبيكة عند تسخين الجميع إلى الدرجة التى عندها يكون الإنتشار ممكناً. على سبيل المثال، عند إستخدام الموليبدنيوم كعلامات بين النحاس و البراص (سبيكة النحاس والزنك) فإن ذرات الموليبدنيوم ستهاجر نحو البراص. يمكن تفسر ذلك بإفتراض أن الزنك ينتشر بشكل أسرع من النحاس، وبالتالى ينتشر من السبيكة مسبباً تناقص في تدرج تركيزه. تكون هذه العملية مستحيلة إذا كان الإنتشار يتم عن طريق التبادل المباشر للذرات.

تم تسمية هذا التأثير على إسم الدكتور إيرنست كيركندال (1913-2005). عمل الدكتور كيركندال أستاذ مساعد للهندسة الكيمياوية في جامعة وين الرسمية من 1941 إلى 1946 وإكتشف هذا التأثير في عام 1947.

يوجد لتأثير كيركندال نتائج عملية مهمة. أحد هذه النتائج هو المنع أَو إخماد الفراغات المتكونة عند الحدود البينية المتكونة في وصلة إلتصاق المعدن مع أنواعِ السبائك المُختلفة. تسمى هذه الفراغات باسم فراغات كيركندال. يبين الشكل 119 مفهوم هجرة

الفراغات إلى السطح البينى بين المعدن والسبيكة وهجرة الأيونات إلى السطح.



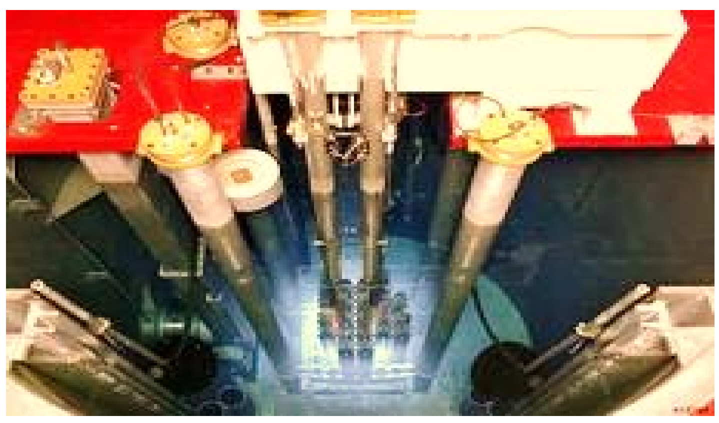
الشكل **119**: مفهوم تكون الفراغات إلى السطح البينى بين المعدن والسبيكة.

في عام **1972**، نشر هورستنج بشركة **RCA** ورقة بحثية سجل فيها نتائج الإختبار مصداقية الأجهزة شبه الموصلة التى تم عمل التوصيلات فيها بإستخدام أسلاك من الألمنيوم تم تثبيتها مع الألواح المطلية بالذهب بواسطة الموجات الفوق صوتية. في هذه الورقة تم إستعراض إهمية تأثير كيركندال في تقنية ربط الأسلاك، لكن بينت أيضاً المشاركة الكبيرة لأى شوائب موجودة في المعدل الذى يحدث عنده ترسيب الإرتباطات السلكية. وجد أن أهم الملوثات الموجودة والتى لها هذا التأثير هو البروم والكلور. من المعروف أن فجوات كل من كيركندال وفورستنج تسببا سمات الربط التى تحدث في حالة الأسلاك وما يترتب عليها من مشكل فنية.

تأثير كيرنكوف Cerenkov effect

إن إشعاع كيرنكوف هو إشعاعُ كهرومغناطيسي ينبعث عندما يمر جسيم مشحون خلال وسط عازل بسرعة أكبر من سرعة الضوء في ذلك الوسط. تعتبر خاصية " الوهج الأزرق" المنبعث من المفاعلات النووية (الشكل **120**) ناتج من إشعاعِ كيرنكوف. تم تسمية هذا الأشعاع (أو التأثير) على اسم العالم السوفيتي بافل أليسكيفيتش كيرنكوف، الفائز بجائزة نوبل عام **1958** اعلى تمييزه لهذا الأشعاع بشكل صارم. وفيما يلى سنلقى مزيدا من الضوء على منشأ وسمات وإستخدامات تأثير كيرنكوف.

بالرغم من أننا نعتبر أن سرعة الضوء في الفراغ تكون ثابتة عالمياً، إلا أن سرعة الضوء في المادة تكون أقل من ذلك بكثير. على سبيل المثال، سرعة الضوء في الماء تساوى فقط **0.75** من سرعة الضوء في الفراغ. يمكن تعجيل المادة إلى ما بعد هذه السرعة أثناء التفاعلات النووية وفي معجلات الجسيمات.



الشكل **120**: صورة لإشعاع كيرنكوف (التوهج الأزرق) منبعث من المفاعل النووى **TRIGA**.

ينتج إشعاع كيرنكوف عندما تتجاوز سرعة الجسيم المشحون (الإلكترون في أغلب الأحيان) سرعة الضوء في وسط المادة العازلة (كهربياً) الذى يمر خلاله. علاوة على ذلك، فإن سرعة الضوء التي يجب تجاوزها تكون سرعة الطور بدلا من سرعة المجموعة. يمكن تغيير سرعة الطور بشكل كبير بإستخدام وسط دوري، والذى فيه يمكن تنفيذ إشعاع كيرنكوف حتى بدون سرعة صغرى للجسيمات (الظاهرة المعروفة بتأثير سميث بورسيل). في الوسط الدوري الأكثر تعقيدا، مثل البلورة الفوتونية، يمكن الحصول أيضا على تشكيلة من تأثيرات كيرنكوف الأخرى الشاذة، مثل الإشعاع في الاتجاه الخلفي (بينما يكون إشعاع كيرنكوف زاوية حادة مع إتجاه بسرعة الجسيمات).

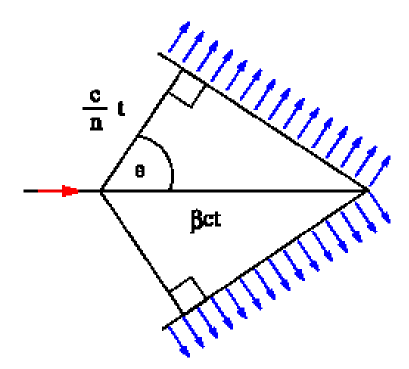
عندما ينتقل الجسيم المشحون في الوسط فإنه يسبب إضطراب للمجال الكهرومغناطيسي الموضعى في الوسط. يؤدى هذا الإضطراب إلى إزاحة الإلكترونات في الذرات وإستقطابها بواسطة المجال الكهرومغناطيسي للجسيم المشحون المار. عندئذ تنبعث فوتونات عندما تسترجع الإلكترونات نفسها إلى حالة الإتزان (الإسترخاء) بعد عبورها للإضطراب. في المادة الموصلة، يمكن إسترجاع الإضطراب بدون بعث (فوتون). في الظروف الطبيعية، تتداخل هذه الفوتونات مع بعضها البعض بشكل هدام ولا يتم رصد إشعاع منبعث. لكن، عندما ينتقل الإضطراب بشكل أسرع من إنتقال الفوتونات أنفسها، فإنها تتداخل بشكل بناء ويتم رصد إشعاع قوى.

يمكن تصور تأثير كيرنكوف بالتأثير الشائع والمعروف وهو الدوي العالي الذى تحدثة الطائرة الأسرع من الصوت أو صوت الرصاصة. في هذه الحالة، عندما تتولد موجات صوتية بواسطة الجسم الأسرع من الصوت ولا تستطيع الموجات التحرك بنفسها بسرعة كفاية لتكون بعيدة عن طريق الجسم (بمعنى عندما يستطيع الجسم إختراق

حاجز الصوت، أى عندما يسبق الموجات الصوتية). هذا لأن الموجات " تتكوم" وتشكل جبهة صدمة على شكل مخروط. بنفس الطريقة يولد القارب السريع قوس صدمة كبير لأنه يتحرك أسرع من الموجات التى يمكن أن تنتقل على سطح الماء. بنفس الطريقة، تولد الجسيات المشحونة الفائقة اللمعان موجة تصادمية فوتونية عندما تنتقل خلال العازل.

بالإشارة إلى الشكل **121**، وبفرض أن v سرعة الجسيم (السهم الأحمر)، β هي النسبة بين سرعة الجسيم إلى سرعة الضوء في الفراغ، **n** معامل إنكسار الوسط، والأسهم الزرقاء في الشكل تمثل الفوتونات المنبعثة فإن ،

$$\cos\theta = \frac{1}{n\beta}$$



الشكل **121**: المخطط الهندسى الذى يمثل تأثير كيرنكوف.

فيما يلى نقدم أهم السمات المميزة لتأثير كيرنكوف. بشكل حدسي، تتناسب الكثافة الكلية لإشعاع كيرنكوف مع سرعة تعجيل الجسيم المشحون ومع عدد مثل هذه الجسيمات. على خلاف أطياف التألق الفلورى وأطياف الإنبعاث التى لها قمم طيفية مميزة، فإن إشعاع كيرنكوف يكون إشعاعا مستمرا (متصلا). إن الكثافة النسبية لتردد معين تتناسب مع التردد. بمعنى أن الترددات الأعلى (الأطوال الموجية الأقصر) تكون أكثر حدة في إشعاع كيرنكوف، الأمر الذى يفسر لماذ يظهر إشعاع كيرنكوف بشكل مرئياً وباللون الأزرق المتألق. في الحقيقة، أغلب إشعاع كيرنكوف يقع في منطقة الطيف فوق البنفسجي (لكن الشحنات المعجلة بما فيه الكفاية هي التي تصبح مرئية،حيث أن تقع ذروة حساسية العين عند اللون الأخضر، وتكون ومنخفضة جدا في الجزء البنفسجي للطيف).

يوجد تردد في إشعاع كيرنكوف يسمى تردد القطع، وهو التردد التى لا تتحقق المعادلة

فوقه. وحيث أن معامل الإنكسار دالة في التردد (وبالتالي في طول الموجة)، فإن الشدة لا تستمر في الزيادة عند أطوال الموجة الأقصر حتى للجسيمات فوق - النسبية جدا (حيث تقترب النسبة v /c من الواحد الصحيح). عند ترددات الاشعة السينية، يصبح معامل الإنكسار أقل من الوحدة ولذلك لا يتم ملاحظة إشعاع اشعة سينية (أو إشعاعات طول موجة أقصر مثل أشعة جاما). لكن، يمكن أن يولد الأشعة السينية بطاقات خاصة تقابل الإنتقالات الإلكترونية الرئيسية في المادة، كما أن معامل الإنكسار في أغلب الأحيان يكون أكبر من الواحد الصحيح عند هذه الطاقات.

كما في حالة أقواس الصدمات والدوي العالي، فإن زاوية مخروط الصدمة يرتبطق بسرعة الإضطراب بشكل عكسى. لذلك، فإن زوايا السقوط الملاحظة يمكن أن تستعمل لحساب الإتجاه وسرعةالشحنات المولدة لإشعاع كيرنكوف.

يتم استعمال إشعاع كيرنكوف لرصد الجسيمات المشحونة العالية الطاقة. في المفاعلات النووية من نوع الحوض، ترتبط كثافة إشعاع كيرنكوف بتردد أحداث الإنشطار التي تولد الإلكترونات العالية الطاقة، لذلك يعتبر مقياس لشدة التفاعل. يستعمل إشعاع كيرنكوف أيضا لتمييز النشاط الإشعاعي للكمية المتبقية من قضبان الوقود المستهلكة.

عندما تتفاعل الأشعة الكونيةالعالية الطاقة مع جو الأرض، فمن الممكن أن يتولد أزواج إلكترون-بوزترون لها سرعات هائلة. يستخدم إشعاع كيرنكوف من الجسيمات المشحونة في تعيين مصدر وكثافة الإشعاع الكوني، الذي يستعمل (على سبيل المثال) في تقنية كيرنكوف للتصوير الجوى (IACT)، بواسطة تجارب مثل **VERITAS**، **H.E.S.S** و **MAGIC**. تستخدم طرق مماثلة في كاشفات الجسيمات المتعادلة الكبيرة جدا، مثل مرصد كاموكندى الفائق، مرصد سودبيري للنيوترينو وكاشف أشعة جاما بنيوميكسكو.

يمكن أن يستعمل إشعاع كيرنكوف أيضا لتعيين خصائص الأجسام الفلكية الالعالية الطاقة التي تبعث أشعة جاما، مثل بقايا النجم المتفجر الأعظم و النجوم النابضة. يتم هذه بواسطة مشاريع مثل ستايسي (**STACEE**) وكاشف أشعة جاما بنيو-ميكسكو.

الإستخدام الشائع جداً لإشعاع كيرنكوف هو في التعرف على الجسيمات. في كاشف **RICH** يتولد مخروط ضوء كيرنكوف عندما يعبر جسيم عالى السرعة خلال الوسط المناسب، والذى يسمى في أغلب الأحيان بالمشعاع. يرصد هذا المخروط الضوئى

بواسطة كاشف مستوى حساس للمكان، يسمح بإعادة بناء الحلقة أو القرص، الذى يعتبر نصف قطره مقياساً لزاوية إشعاع كيرنكوف. للكزيد من التفاصيل حول هذا الموضوع أنظر أيضاً مواضيع: إشعاع الفرملة، أنواع المصادر الضوء، و معادلة فرانك – تام.

تأثير لارسين Larsen effect

يعرف تأثير لارسين أيضاً بتأثير بالتغذية المرتدة السمعية. يعتبر هذا التأثير نوع من أنواع التغذية المرتدة التى تحدث عندما يوجد مسار مغلق للتغذية المرتدة بين دخل سمعى (ميكروفون أو جيتار مثلا) و خرج سمعى (سماعة على سبيل المثال). في هذا المثال، يتم تكبير الإشارة المستلمة بواسطة الميكروفون وتمر خارجة إلى السماعة. يمكن للصوت الخارج من السماعة أن يستقبل مرة أخرى بالميكروفون ويكبر ثانية ويمر خارجاً مرة أخرى خلال السماعة مرة أخرى. إن ما حدث هو مثال جيد للتغذية المرتدة الموجبة. يعتين تردد الصوت الناتج بترددات الرنين في الميكروفون، مكبر الصوت، ، والسماعة، الخصائص الصوتية للغرفة، نماذج الإلتقاط والإنبعاث الإتجاهى للميكروفون والسماعة، والمسافة بينما.

بشكل أكثر تحديدا، تتبع شروط التغذية المرتدة معيار باركهاوزن، والذى يعني أن التذبذب يحدث مسار التغذية المرتدة الذى يؤخر الطور بمضاعف عدد صحيح من 360 درجة وكسب يساوي أو أكبر من الوحد الصحيح (وكلاهما عندد تردد التغذية المرتدة المعطى). إذا المكسب أكبر من الواحد الصحيح، فإن النظام حينئذا يمكن أن يبدأ التذبذب من الضوضاء، بمعنى آخر: تكون صوت أى دخل (أنظر المذبذبات).

تسبب التغذية المرتدة السمعية في العديد من المشاكل التى يمكن استفادة من بعضها في عمل المؤثرات الصوتية. لتفادي التغذية المرتدة، يمكن أستخدام مرشحات أتوماتيكة مضادة للتغذية المرتدة. (في السوق تسمى هذه المرشحات بإسم "مدمرة التغذية المرتدة" أو "مزيل التغذية المرتدة". للمزيدة من المعلومات حول هذا الموضوع إرجع إلى التغذية المرتدة الضوئية.

تأثير لازاروس Lazarus effect

عندما إستعمال كوشف شبه موصلة في بيئات الإشعاع القاسية، يبدأ العيوب بالظهور

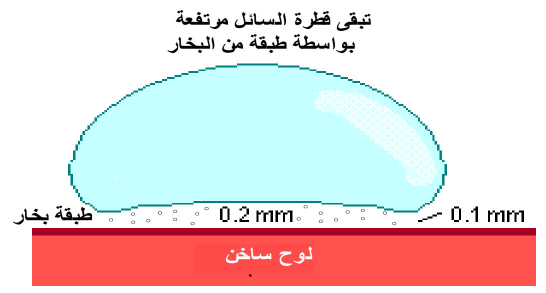
في الشبيكة البلورية لشبه الموصل عندما تصبح الذرات مزاحة عن موضعها بسبب تفاعل الجسيمات العابرة ذات الطاقة العالية، مكونة ما يسمى بالعيوب التركيبية. لهذه العيوب (في شكل فراغات شبيكة، ومواقع ذرات بينية)، تأثير المصيدة المؤقتة للإلكترونات والفجوات التي تنشأن عند مرور الجسيمات المؤينة خلال الكاشف. وبما أن هذه الإلكترونات والفجوات تنجرف تحت تأثير المجال الكهربي وتولد إشارة كهربية فإنها تعلن عن مرور جسيم. عند تولد كميات كبيرة من العيوب فإن إشارة الكاشف تختزل بشكل قوى وتؤدى إلى أن يكون الكاشف غير صالح للإستعمال (ميت). لكن على ما يبدو وجد أنه في درجات الحرارة تحت 130 كلفن (-143 درجة مئوية تقريباً) تعود الكوشف الميتة للاستجابة. عرفت هذه الظاهرة بتأثير لازاروس، يتعلق تفسيره بديناميكا العيوب المستحثة في حجم شبه الموصل.

إن عيوب الضرر الإشعاعى المتولدة عند درجة حرارة الغرفة تأسر الإلكترونات والفجوات الناتجة عن التأين بشكل مؤقت. ثم بعد ذلك تنبعث الإلكترونات والفجوات عائدة إلى نطاق التكافؤ أو نطاق التوصيل في وقت يكون أطول نموذجيا من الوقت اللازم التى تأخذة أجهزة الخرج الإلكترونية في القراءة. لذلك تكون الإشارة المقاسة أصغر مما يجب أن تكون علية. ويؤدى هذا إلى نسب إشارة إلى ضوضاء منخفضة والتى بدورها يمكن أن تمنع كشف الجسم العابر. لكن عند درجات الحرارة العالية التبريد، بمجرد أسر الإلكترون أو الفجوة الناتجة من التأين أو من تيار تسرب الكاشف في عيب موضعى فإن الإلكترون أو الفجوة تظل مأسورة لوقت طويل نتيجة للطاقة الحرارية المنخفضة جداً للشبيكة. يؤدى هذا إلى كسر كبير من المصائد التى تصبح مملوءة ولذلك تصبح خاملة. حينئذا تمنع الإلكترونات والفجوات المتولدة بواسطة الجسيمات العابرة للكاشف و لا تفقد أشارة أو أن الإشارة المفقودة تكون صغيرة.

تأثير ليدنفورست Leidenfrost Effect

تأثير ليدنفورست هو الظاهرة التي يولد فيها السائل، الملامس لكتلة أسخن بكثير من درجة غليانه، طبقة بخار عازلة تعمل على منع ذلك السائل من الغليان بسرعة. يرى هذا بشكل شائع عند الطبخ، عند رش قطرات من الماء في المقلاة لقياس درجة حرارتها. فإذا كانت درجة حرارة المقلاة عند درجة حرارة ليدنفورست أو أعلى منها فإن الماء ينزلق على المعدن ويأخذ وقت أطول للتبخر من الوقت في حالة المقلاة الساخنة عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة ليدنفورست. يبين الشكل 122 كيف أن قطرة الماء

الموضوعة على لوح ساخن جداً تنفصل وتكون مرفوعة عن اللوح بفعل طبقة من بخار الماء والتى تعمل على تأخير تبخر القطرة.



الشكل 122:: تنفصل قطرة الماء عن اللوح ساخن جداً وتكون مرفوعة بفعل طبقة بخار الماء والتى تعمل على تأخير تبخر القطرة.

يستعمل هذا التأثير أيضا في بعض العروض الخطرة، مثل خفض إصبع مبلل في مصهور الرصاص ووضعة في تيار من بخار النيتروجين السائل، فإن ذلك يتم بدون إصابات خطرة في كلتا الحالتين للقائم بالعرض. كانت هناك إدعاءات بأن التأثير يتضمن أيضا السير فوق النار، لكن يبقى هذا الزعم مثير للجدل. إن التأثير أيضا هو المسؤول عن مقدرة النتروجين السائل على الإنزلاق على طوابق المختبر، في عملية تجميع للغبار المتراكم.

سمى هذا التأثير اسم يوهان جوتلوب ليدنفورست، الذي ناقشه في ورقته البحثية "كراسة حول بعض نوعيات الماء الشائعة " في عام 1756م.

لإستعراض تأثير ليدنفورست في المنزل، خذا مقلاة عادية (لا تكون غير لاصقة) نظيفة وسخنها فوق طباخ غازي. بين الحين والآخر، بل إصبعك في طاسة مملوءة بالماء النظيف ورش بضعة قطرات في المقلاة. في البداية، عندما تكون درجة حرارة المقلاة تحت 100°C، فإن الماء يتسطح فقط في المقلاة ويتبخر ببطئ. وعندما تصبح درجة حرارة المقلاة أعلى من 100°C، فإن الماء الساقط يصدر فحيح عند لمس المقلاة ويتبخر بسرعة نسبيا. لاحقا، عندما تتجاوز درجة الحرارة 220°C، فإن تأثير ليدنفورست يلعب دور. عند التلامس لا تتبخر قطرات الماء بهذه السرعة. هذه المرة، تتكور قطرات الماء إلى كرات صغيرة من الماء وتنزلق هنا وهناك وتأخذ وقت أطول بكثير للتبخر من الوقت التى تأخذه عندما كانت درجة حرارة المقلاة أقل بكثير. يدوم هذا التأثير حتى تصبح درجة حرارة أعلى بكثير وتسبب تبخر أسرع لقطرات الماء الأخرى.

يحدث هذا لأنه، في درجات الحرارة فوق نقطة ليدنفورست (حوالي 220°C للماء)،

عندما يمس الماء اللوح الساخن، فإن الجزء السفلي لماء يتبخر فورا عند الإتصال. يعلق الغاز الناتج ببقية قطرة الماء الموجودة فوقها تماماً، مما يمنع أي إتصال مباشر آخر بين الماء السائل واللوح الساخن ويبطئ من إنتقال مزيد من الحرارة بشكل مفاجئ بينهما، الشكل 122. يؤدي إلى أن تكون القطرة قادرة على الإنزلاق في المقلاة فوق طبقة الغاز التى توجد فقط تحتها.

تأثير ماتيوكي Matteuci effect

تأثير ماتيوكي هو إحدى الظواهر المتعلقة بالتخثر المغناطيسي وهو عبارة عن خلق قابلية مغناطيسية غير موحدة الخواص لمادة التخثر المغناطيسي عند تعريضها لعزم لى. للمزيد من المعلومات إرجع إلى التخثر المغناطيسي، تأثير وايدمان و تأثير فاليرى المعكوس.

تأثير مارانجونى Marangoni Effect

يسمى تأثير مارانجونى أحياناً بتأثير جيبس-مارانجونى، وهو عبارة عن النقل الكتلى على/ في طبقة السائل نتيجة إختلافات الشد السطحي.

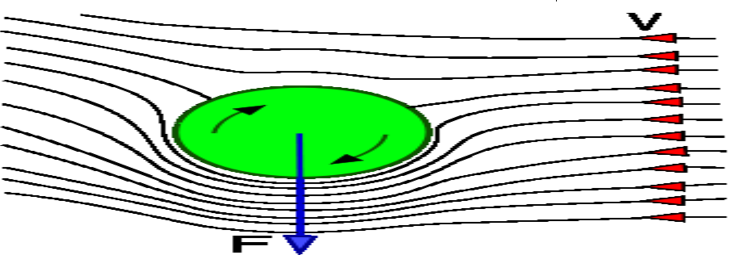
بما أن السائل ذى الشد السطحي العالي يسحب أكثر بقوة على السائل المحيط من السائل ذى الشد السطحي المنخفض، فإن وجود تدرج في الشد السطحي سيسبب تدفق طبيعى للسائل بعيدا عن مناطق الشد السطحي المنخفض.

تم التعرف على هذه الظاهرة لأول مرة فيما يسمى "بدموع النبيذ" بواسطة الفيزيائي جيمس طومسن (أخو اللورد كيلفن) في عام 1855م. يسمى التأثير العام على إسم الفيزيائي الإيطالي كارلو مارانجونى الذي درسه في إطروحة الدكتوراه الخاصة به في جامعة بافيا ونشر نتائجها في عام 1865م. تمت أغلب المعالجة الكاملة المبكرة لهذا التأثير بواسطة ويلارد جيبس.. تظهر الحالة الأخرى لتأثير مارانجونى في سلوك خلايا الإنتقال (الحمل)، المسماه بخلايا بينارد.

تأثير ماغنس Magnus Effect

في مجال ديناميكا الهواء، تأثير ماغنس هو الاسم أطلق على الظاهرة الطبيعية التى يؤثر فيها دوران الجسم على مساره خلال السائل، وخاصة الهواء. إنه نتاج لظواهر مختلفة بما فيها تأثير برنولي وتشكيل طبقات حدود في الوسط حول الأجسام المتحركة. يبين

الشكل 123 هذه المفاهيم.



الشكل 123: صورة توضح تأثير ماغنس على كرة.

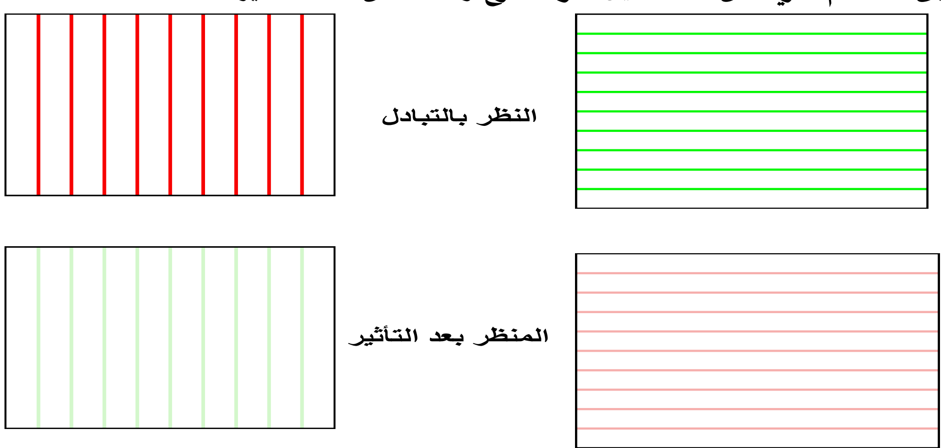
يخلق دوران الجسم نوع من دوامة من الهواء الدوار حول نفسه. عند إحدى جهات الجسم، ستكون حركة الدوامة في نفس إتجاه تدفق الريح الذي يتعرض الجسم له. عند هذا الجانب، السرعة ستكون متزايدة. عند الجانب الآخر، حركة الدوامة في الإتجاه المعاكس إتجاه تدفق الريح و ستتناقص السرعة. يتناقص ضغط الهواء مخفض عن الضغط الجوي بكمية تتناسب مع مربع السرعة، لذا فإن الضغط سيكون أقل عند إحدى جهات عن الجهة الآخرى مما يؤدى إلى قوة غير متوازنة تصنع زاوية قائمة مع إتجاه الريح.

إن مجمل هذا السلوك مشابه للسلوك حول السطح الإنسيابي (إرجع إلى قوة الرفع) مع التوزيع الذي يتولد بالدوران الميكانيكي، بدلا من فعل السطح الإنسيابي. هذا ليس الشيء الوحيد الذي يسبب إنحراف الجسم. بالأضافة إلى قوة ماغنس، فإن طبقة حدود التدفق تكون متأخرة عند الجانب المتحرك في نفس إتجاه تدفق التيار الحر، وتكون متقدمة عند الجانب المتحرك في إتجاه ضد التدفق. ينحرف التدفق بعيدا عن الجانب المتحرك ضد التدفق، وهذا التغير في الزخم يتوازن بواسطة مع تغير زخم الجسم في الإتجاه المعاكس. إن أي شئ يعرقل طبقة الحدود لذلك يميل للإلتواء خارج المسار، وهذا هو سبب وجود نتوءات كرة الغولف. تنشط هذه النتوءات طبقة الحدود، وتجعلها عاصفة الأمر الذي يساعد على تخفيض سحب الضغط نتيجة إفتراق التدفق المبكر.

على نقيض ما يعتقده البعض، فإن تأثير ماغنوس ليس مسئول عن حركة كرة الكريكت التى ترى في البولنج المتأرجح. إن من وصف هذا التأثير هو الفيزيائى الألماني هنريش ماغنوس في عام 1853م وقد وصفه إسحاق نيوتن وفسره بشكل صحيح قبل ذلك بـ 180 سنة بعد ملاحظة لاعبي التنس في كليته في كامبردج.

تأثير مكولويغ McCollough effect

إن تأثير مكولويغ ظاهرة الإدراك البصري الإنساني التي تظهر فيها الشبكة العديمة اللون، المرسومة على ورقة، ملونةً طبقاً لإتجاه الشبكة. إنه عبارة عن تأثير لاحق يتطلب فترة تكيف ليتولد. فعلى سبيل المثال، عندما ينظر شخص بالتناوب الى شبكة رأسية حمراء والى شبكة أفقية خضراء لمدة بضع دقائق، فإن الشبكة الرأسية الأبيض- و- الأسود ستبدو بعد ذلك مخضرة و الشبكة الأفقية الأبيض- و- الأسود ستبدو وردية، الشكل **124**. تم إكتشاف هذا التأثير بواسطة سيليست مكولويغ في عام **1965**م. فيما يلي سنقدم المزيد من التفاصيل حول شرح وخصائص هذا التأثير.



الشكل **124**: بعد النظر بالتناوب إلى هاتين الشبكتين، فإن الشبكة الرأسية الأبيض- و- الأسود ستبدو مخضرة و الشبكة الأفقية الأبيض- و- الأسود ستبدو وردية اللون.

أطلقت الورقة البحثية لمكولويغ المئات من الأبحاث العلمية على هذا التأثير. نسب هذا التأثير بشكل مختلف: إلى تكيف الخلايا في نواة العقدية الفرعية المصممة الزيغ اللوني للعين، إلى تكيف الخلايا في اللحاء البصري المتجاوبة معا للتلوين والتوجيه، إلى المعالجة خلال مراكز الدماغ العليا (بما في ذلك شحمات الاذن الأمامية)، وإلى التعلم والذاكرة. في عام **2006**، ما زال تفسير التأثير قيد النقاش، بالرغم من وجود إجماع إلى جانب تفسير مكولويغ الأصلي.

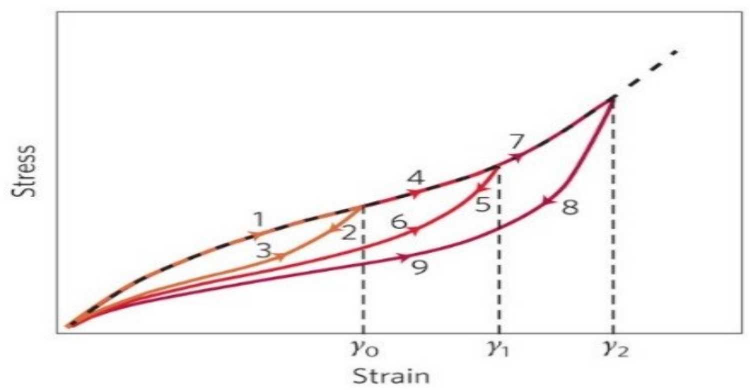
يعتبر تأثير مكولويغ تأثيراً رائعاً اعدة أسباب:- لأنه دائم لمدة طويلة جدا، لأن يعتمد على التوجيه الشبكي ولأن إدراك التأثير بعين واحدة لن يؤدي إلى رؤية التأثير بالعين الأخرى. إن التأثير مختلف عن الشبح (الطيف) الملون، الذي يبدو متداخلا على ما يرى والذي يكون قصير الأمد جدا.

يتطلب أي تأثير لاحق يتطلب فترة للحث (أو التكيف) بواسطة محفز حث. حينئذاً، يتطلب الأمر محفز إختبار الذي فيه يمكن رؤية التأثير اللاحق. في تأثير مكولويغ كما وصف من قبل، محفزات الحث هي الشبكة الرأسية الحمراء والشبكة الأفقية الخضراء. في محفز الإختبار المثالي قد ترى رقع مجاورة للشبكة الرأسية والأفقية الإسود والأبيض. إن ألوان تأثير مكولويغ تعرض بشكل أكثر من ألوان الحث. إن محفزات الحث يمكن أن تأخذ أي ألوان مختلفة. لكن يكون التأثير أقوى، عندما تكون الألوان مكملة، مثل أحمر مع وأخضر، وأزرق مع أصفر.

إن التأثير يكون مخصص لمنطقة شبكية العين التى تعرض إلى محفزات الحث. يتم بيان هذا بإدراك بتوليد تأثيرات معاكسة في المناطق المجاورة من شبكية العين (وبمعنى آخر: في منطقة ما تظهر الرأسيات في شبكية العين بلون وردى والأفقيات تبدو مخضرة؛ وفي المنطقة مجاورة من شبكية العين، يظهر العكس).

تأثير مولنس Mullins effect

يتلخص مفهوم تأثير مولينز في منحنى إستجابة الإجهاد-الإنفعال للمطاط المحشو الذي يعتمد (في الحالة النموذجية) على أقصى تحميل مطبق من قبل، انظر الشكل **125**. سميت هذه الظاهرة على إسم عالم المطاط البريطاني ليونارد مولينز . يمكن جعل هذه الظاهرة مثالية للعديد من الأغراض كتخفيف آني وغير قابل للإنعكاس لمنحنى الإجهاد - الإنفعال الذي يحدث عندما يزيد الحمل إلى ما بعد القيمة القصوى المحددة مسبقاً. أحيانا، عندما يكون الحمل أقل من القيمة القصوى يسود السلوك الطاطى ويكون المنحنى غير خطى.



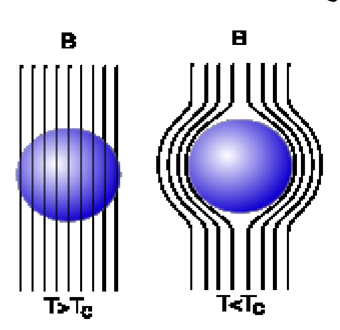
الشكل **125**: منحنى إستجابة الإجهاد-الإنفعال للمطاط المحشو يظهر تأثير مولنس نموذجي.

تأثير ميتنير- هوبفيلد Meitner–Hupfeld effect

إن تأثير ميتنير-هوبفيلد هو التبعثر الكبير بشكل شاذ لأشعة جاما الذى يحدث بواسطة العناصر الثقيلة. لاحقا، تم تفسير تأثير ميتنير-هوبفيلد بالنظرية الواسعة التي أخرجت النموذج القياسي، وهو النظرية التى وضعت لتوضيح تركيب النواة الذرية. تم إعزاء السلوك الشاذ لأشعة الجاما إلى عملية إنتاج و فناء زوج الإلكترون – بوزترون. بالرغم من أن البروفسور ميتنير كانت مقدرة بعملها، إلا أنه تم إهمال البروفسور هوبفيلد في العادة، وقليلا ما أشير أليه خلال حياته.

تأثير ميزنر Meissner Effect

بالإضافة إلى خاصية التوصيلية التامة التى تتميز بها المواد الفائقة التوصيل فإنها تتمتع أيضاً بصفة الدايامغناطيسية التامة، وهذا يعني أنه عند تطبيق مجال مغناطيسي منتظم على المادة فائقة التوصيل تكون شدة المجال داخل المادة صفراً ($B = 0$) ويتم طرد الفيض المغناطيسي خارج المادة الفائقة التوصيل. يسمى هذا التأثير بتأثير ميزنر. يمكن القول بأن إن تأثير ميزنير هو التأثير الذي يضمحل فيه مجال مغناطيسي ضعيف بسرعة إلى صفر في داخل الموصل الفائق. تسمى المسافة التي يخترقها المجال بعمق إختراق لندن. تبين أن شدة المجال المغناطيسي ستكون صفر داخل المادة في الحالة الفائقة، بمعنى أن المادة الفائقة التوصيل تطرد خطوط المجال المغناطيسي الخارجى بعيد، على خلاف المواد الموصلة المعتادة، الشكل **126**.



الشكل **126**: مخطط يوضح تأثير ميزنر. تطرد خطوط المجال المغناطيسي خارج المادة (الفائقة التوصيل) عندما تكون درجة حرارتها أقل من الدرجة الحرجة لها.

تم إكتشاف هذا التأثير بواسطة والثر ميزنر وروبرت أوخينفيلد عام **1933**. إن تأثير ميزنر هو أحد السمات الحاسمة للتوصيلية الفائقة، والتى أدى إكتشافها إلى بداية

وإلكترون واحد في الغلاف 2s. وبما أن افلكترونين في 1s تحجب البروتونات لتعطى عدد ذرى فعال للإلكترون الموجود في 2s مقدار قريب من 1، فإنه يمكننا أن نعالج إلكترون التكافؤ هذا الموجود في 2s بواسطة نموذج الهيدروجين.

من الناحية الرياضية، يمكن حساب العدد الذرى الفعال (Z_{eff}) بواسطة الطرق المعروفة بحسابات المجال المتوافق ذاتياً، لكن في الحالات المبسطة يتم إعتبار العدد الذرى مطروحا منه عدد الإلكترونات الموجودة بين النواة والإلكترون المأخوذ في الإعتبار.

في حالة المركب أو الخلوط فإن العدد الذرى الفعال هو حد يشبه العدد الذرى لكنه مستخدم لوصف المركبات (مثل الماء) ومخاليط المواد المختلفة (مثل الأنسجة والعظام) بدلا من وصف الذرة الواحدة. يتم حساب العدد الذرى الفعال بأخذ النسبة الجزئية لكل ذرة في المركب وضربها في بالعدد الذري للذرة، كما تبين العلاقة الأتية.

$$Z_{eff} = \sqrt[2.94]{f_1 \times (Z_1)^{2.94} + f_2 \times (Z_2)^{2.94} + f_3 \times (Z_3)^{2.94} + ...}$$

حيث f_n كسر العدد الكلى من الإلكترونات المصاحب لكل عنصر، و Z_n العدد الذرى لكل عنصر. بتطبيق ذلك على الماء (H_2O) كمثال. بما أن العدد الذرى لذرة الهيدروجين هو 1 ولذرة الأكسيجين هو 8، فإن العدد الكلى للإكترونات يكون 8+1+1 وتكون نسبة الأكسيجين هي 8/10 ونسبة الهدروجين هي 2/10 وبالتالى يكون العدد الذرى الفعال للماء هو،

$$Z_{eff} = \sqrt[2.94]{0.2 \times 1^{2.94} + 0.8 \times 8^{2.94}} = 7.42$$

تأتى أهمية العدد الذرى الفعال من إمكانية توقع كيفية تفاعل الأشعة السينية مع المادة، حيث أن أنوع معينة من تفاعلات الأشعة السينية تعتمد على العدد الذرى.

الفعل المؤثر Effective action

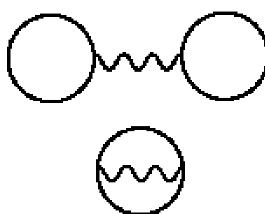
في النظرية الكمية للمجال، الفعل المؤثر هو التعبير المعدل للفعل، الذى يأخذ في الإعتبار تصحيحات الميكانيكا الكمية في المعنى التالى.

في الميكانيكا الكلاسيكية، يتم إشتقاق معادلات الحركة من الفعل بواسطة مبدء الفعل الساكن. لا يحدث هذا في ميكانيكا الكم، حيث يتم جمع سعات كل الحركات الممكنة في تكامل مسار. على أية حال، إذا تم إستبدال الفعل بالفعل المؤثر فإنه يمكن إستنتاج

معادلات الحركة للقيم الذاتية للفراغ للمجالات (VEVs) من متطلب أن الفعل المؤثر يكون ثابتا. على سبيل المثال، لن يستقر المجال φ مع الجهد $V(\varphi)$ عند درجة حرارة منخفضة، في الحد الأدنى محلي للجهد $V(\varphi)$، لكن في حد أدنى محلي للجهد المؤثر و الذي يمكن أن يقرأ من الفعل المؤثر.

علاوة على ذلك، يمكن إستخدام الفعل المؤثر بدلا من الفعل في حساب دوال الإرتباط، وحينئذا يجب أخذ ثلاثة مخططات شجرة فقط في الإعتبار. لإلقاء مزيدا من الضوء على التفاصيل الرياضية للفعل المؤثر نعتبر الحالة التالية.

بفرض أن دالة التقسيم ($Z[J]$) تعطى بدلالة مجال المصدر J، أى إن فإن دالة الطاقة تكون عبارة عن لوغاريتمها على النحو، $E[J]=i\ln Z[J]$. يستخدم بعض الفيزيائيون W بدلاً من E حيث $W=-E$. يبين الشكل **141** مخططات فايمان في حالة أنظمة تفاعل بين جسمين.



يبين الشكل **141**: مخططات فايمان في حالة أنظمة تفاعل بين جسمين.

تظهر مخططات فايمات المبينة أعلاه بالدرجة الأولى في مفكوك الإضطراب لكل من Z و E. يتكون مفكوك الإضطراب لـ Z من كل المخططات التى تكون مغلقة، يتكون مفكوك الإضطراب لـ E من كل المخططات التي تكون كلها مغلقة ومرتبطة.

في الميكانيكا الإحصائية، $E[J]=-\ln Z[J]$. كما يتم تفسير Z كدالة مولدة للـ **VEVS** ذات الزمن المنتظم / دالة شوينج ($e^{-S[\phi]}/Z$)، فإن E هي مولد القيم الذاتية المرتبطة للفراغ ذات الزمن المنتظم/دالة شوينج المرتبطة حيث يتم تفسير المرتبطة هنا بمفهوم نظرية التفكك العنقودى والتى تعنى أن هذه الدوال تقترب من الصفر عند شبه فضاءات فاصلةكبيرة، أو في التقريبات بإستخدام مكونات مخططات فايمان المرتبطة في الرسم البيانى

$$< \phi(x_1)\cdots\phi(x_n) >_{con} = (-i)^{n+1}\left.\frac{\delta^n E}{\delta J(x_1)\cdots\delta J(x_n)}\right|_{J=0}$$

أو

$$< \phi^{i_1}\cdots\phi^{i_n} >_{con} = (-i)^{n+1}E^{,i_1\ldots i_n}\big|_{J=0}$$

في ترميز دى ويت. حينئذ، تكون دالة الإرتباط لـ n من النقط هي المجموع على كل التقسيمات الممكنة للمجالات المتضمنة الضرب إلى مضاريب دوال الإرتباط المتصلة.

القدرة المنبعثة الفعالة Effective Radiated Power

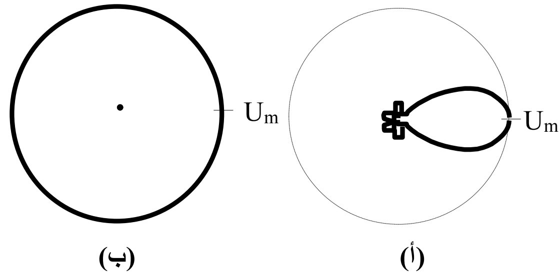
في مجال الإتصالات الإذاعية، تتعين القدرة المنبعثة الفعالة (ERP) بحاصل طرح الفقد في نظام ما من الكسب المتحقق بهذا النظام. في الظروف النموذجية يتم تطبيق مصطلح القدرة المنبعثة الفعالة في أنظمة الهوائيات. على سبيل المثال، إذا كان لنظام الهوائى كسب قدرة مقداه **9** ديسيبل وقدرة مفقودة مقدارها **6** ديسيبل فإن القدرة المنبعثة الفعالة على خرج مرسل القدرة تساوى **3**. على سبيل المثال، في محطة الإذاعة إف إم (FM هو نظام تضمين تردد) التى تعلن أن لديها قدرة فعلية مقدارها **100,000** واط من **100,000**واط قدرة منبعثة فعالة ربما لايكون للمرسل قدرة فعلية تساوى **100,000**واط. قدرة خرج المرسل الكهربائي لمثل هذا المحطة ربما يتراوح من **10,000** إلى **20,000** واط، مع معامل كسب، في هذه الحالة، يتراوح من **5** إلى **10**. وبما أنه للحصول على أى كسب يجب توجيه الهوائى أكثر في إتجاه ما، فإن قيمة القدرة المنبعثة الفعالة سيتفاوت أيضاً مثل كسب الهوائى حتى يتم إلتقاط الحد الأعلى للقيمة.

يمكن تعريف القدرة المنبعثة الفعالة بأنها القدرة المعطاة للهوائى مضروبة في كسب الهوائى في إتجاه ما. يجب ملاحظة أنه إذا لم يتحدد إتجاه الهوائى يجب إعتبار الإتجاه الذى يعطى أكبر كسب. كما يجب تتحديد نوع الهوائى المرجعي. كما يمكن تعريف القدرة المنبعثة الفعالة أيضاً بأنها حاضل ضرب القدرة المعطاة للهوائى وكسبه نسبة إلى هوائى ثنائى القطب نصف موجى في الإتجاه المعطى. وهنا مرة أخرى، يجب ملاحظة أنه إذا لم يتحدد إتجاه الهوائى يجب إعتبار الإتجاه الذى يعطى أكبر كسب.

في الولايات المتحدة الأمريكية، تكون القدرة المنبعثة الفعالة للراديو تعديل التردد (FM) منسوبة دائما بشكل نظرى إلى هوائى ثنائى القطب نصف موجى مرجعى. يمكن مضاعفة قدرة خرج المرسل إذا إستخدمت المحطة نظام الإستقطاب الدائرى، أى بمركبات إشارة أفقية ورأسية متساوية. ينطبق هذا المفهوم أيضا في حالة التليفزيون التناظرى أيضاً، ويمكن تطبيقها بشكل عام على التليفزيون الرقمى وعلى الراديو إف إم الرقمى.

أكثر أنظمة المايكرويف التى لها هوائى غير إتجاهى بشكل منتظم أو المتماثل الخواص (لأن الهوائى الذي يشع بشكل جيد جدا على حد سواء في كل إتجاه مستحيل من الناحية الفيزيائية) تستعمل عادة كهوائى مرجعى. تتضمن هذه الأنظمة أنظمة الإرسال والإستقبال في الأقمار الصناعية، الرادار، والأنظمة الأخرى التى تستخدم أطباق المايكروويف والعواكس بدلاً من طرازات الهوائيات الثنائية القطب. (عند الإفتراض النظرة بأن الهوائى المرجعى متماثل الخواص يتم إستعمال الإختصار EIRP). وبالرغم من إستحالة صناعة مثل هذا الهوائى إلا أن هذا الإفتراض يجعل الحسابات أكثر بساطة.

يمكن تعريف القدرة الفعالة المنبعثة للهوائى المتماثل بحاصل الضرب الجبرى للقدرة المعطاة للهوائى في كسب الهوائى منسوب إلى مصدر متماثل، الشكل **142**.



الشكل **142**: توضيح للقدرة الفعالة المنبعثة بهوائى متماثل. يبين كلا الشكلين أن $\text{EIRP} = 4\pi U_m$ في كلتا الحالتين: (أ) حالة هوائى موجهه له قدرة دخل P_T وكسب G_T و (ب) حالة هوائى متماثل له دخل $P_T G_T$ وكسب وحدة.

في حالة الموجة المتوسطة (**AM**، تعديل سعة) فإن المحطات في الولايات المتحد الأمريكية تستخدم تعبيرالقدرة المنبعثة الفعلية للمحطات المتعددة الإتجاهات. في حالة المحطات الإتجاهية، يتم حساب القدرة منسوبة إلى مشعاع متعدد الإتجاهات بنفس القوة الإسمية و كفاءة تساوى جذر متوسط مربعات كفاءة الهوائى الإتجاهى قيد النظر، أو إلى أدنى كفاءة مسموحة لهذا الصنف من المحطات.

أحياناً في أوربا، يتم إستخدام تعبير القدرة المنبعثة آحادية القطب الفعالة (**EMRP**) بدلاً من تعبير القدرة المنبعثة الفعالة (**ERP**) وخاصة فيما يتصل بهوائيات إذاعة الموجات المتوسطة. إن هذين التعبيرين متكافئين فيما عدا إستخدام قطب آحادى ربع موجى كهوائى مرجعى بدلاً من الهوائى ثنائى القطب نصف الموجى.

الكتلة الفعالة Effective mass

في فيزياء الحالة الصلبة، يفيد مصطلح الكتلة الفعالة للجسيم بأنها الكتلة التى تبدو محمولة بالجسيم في النموذج الشبه كلاسيكى للإنتقال في البلورة. يمكن بيان أنه تحت أغلب الشروط تستجيب الإلكترونات والفجوات في البلورة للمجالات الكهربية والمغناطيسية في الغالب كما لو كانت جسيمات حرة في الفراغ، ماعدا أن الكتل تكون مختلفة. في العادة، يشار لهذه الكتلة بوحدات كتلة الإلكترون المعتادة (9.1×10^{-31}Kg). فيما يلى نلقى مزيد من الضوء على التعريف الدقيق للكتلة الفعالة.

تعرف الكتلة الفعالة بالتناظر مع قانون نيوتن الثاني، $\vec{F}=m\vec{a}$. بإستعمال ميكانيك الكم يمكن بيان أنه بالنسبة لإلكترون في مجال كهربائي خارجي E فإن: $a=\frac{1}{\hbar^2}.\frac{d^2\varepsilon}{dk^2}\,qE$، حيث a العجلة $\hbar$ ثابت بلانك المختزل ($\hbar=h/2\pi$)، k العدد الموجى $\varepsilon(k)$ الطاقة كدالة في العدد الموجى أو في الغالب تسمى علاقة الإنتشار. من المجال الكهربي الخارجي فقط فإن الإلكترون يكتسب قوة تساوى $\vec{F}=q\vec{E}$ حيث q شحنة الإلكترون. لذلك في النموذج الذى فيه يؤثر المجال الكهربائي الخارجي فقط، كتلة فعالة *m تصبح، $m^*=\hbar^2.\left[\frac{d^2\varepsilon}{dk^2}\right]^{-1}$.

في حالة الجسيم الحر فإن علاقة الإنتشار تكون تربيعية، وبالتالى فإن الكتلة الفعالة تكون ثابتة (وتساوى الكتلة الفعلية). في البلورة، يكون الوضع أكثر تعقيداً. لاتكون علاقة الإنتشار حتى تربيعية بالتقريب، في المقياس الكبير. على أية حال، حيثمايحدث قيمة صغرى في علاقة التشتت، فإن الحد الأدنى يمكن تقريبه بمنحنى من الدرجة الثانية في المنطقة الصغيرة حول تلك القيمة الصغرى. لذلك، فإنه بالنسبة للإلكترونات التي لها طاقة قريبة من القيمة الصغرى فإن الكتلة الفعالة تكون مفهوم مفيد.

في مناطق الطاقة البعيدة عن القيمة الصغرى فإن الكتلة الفعالة يمكن أن تكون سالبة أو حتى تقترب من مالانهاية. عموما الكتلة التى تعتمد على الإتجاه (بالنسبة للمحاور البلورية)، تكون كمية ممتدة. على أية حال، في أغلب الحسابات، يمكن توسيط الإتجاهات المختلفة لحساب المعدل. يجب عدم الخلط بين الكتلة الفعالة والكتلة المختزلة (المخفضة) التى هي عبارة عن مفهوم من ميكانيكا نيوتن. يمكن فهم

الكتلة الفعالة فقط بواسطة ميكانيكا الكم كما سنبين فيما يلى.

في نموذج الإلكترون الحر، الدالة الموجية للإلكترون يمكن أن تكون على الصورة e^{ik-z}. بالنسبة للحزمة الموجية، تعطى سرعة المجموعة بالعلاقة، $v = d\omega / dk$. و في وجود المجال الكهربي E، يكون التغير في الطاقة هو،

$$d\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dk} dk = -eEdx = -eEvdt = -eE\frac{d\varepsilon}{dk} dt$$

الأن يمكن القول أن $\hbar \frac{dk}{dt} = \frac{dp}{dt} = m.\frac{dv}{dt}$ حيث P زخم الإلكترون. بوضع النتائج السابقة في المعادلة الأخيرة نحصل على،

$$\frac{\hbar}{m} \cdot \frac{dk}{dt} = \frac{1}{\hbar} \cdot \frac{d}{dt} \frac{d\varepsilon}{dk} = \frac{1}{\hbar} \cdot \frac{d^2\varepsilon}{d^2k} dk$$ ،

الجدول 4

المادة	كتلة الإلكترون الفعالة	كتلة الفجوة الفعالة
	Group IV	
Si (4.2K)	1.08 me	0.56 me
Ge	0.55 me	0.37 me
	Group III-V	
GaAs	0.067 me	0.45 me
InSb	0.013 me	0.6 me
	Group II-VI	
ZnO	0.19 me	1.21 me
ZnSe	0.17me	1.44 me

ومن هذه العلاقة ينتج التعريف، $\frac{1}{m} = \frac{1}{\hbar^2} \cdot \frac{d^2\varepsilon}{d^2k}$. فيما يلى يبين الجدول 4 الكتلة الفعالة لبعض المواد شبه الموصلة الشائعة مشتقة الخاصة بحسابات كثافة الحالة.

تقليديا، يتم قياس الكتلة الفعالة بإستعمال رنين السيكلوترون، وهى طريق يتم فيها إمتصاص مايكرويفي لموادشبه موصل مغمورة مجال مغناطيسي يعطى قمة حادة عندما يتساوي تردد المايكرويف تردد السيكلوترون $\omega_c = \frac{eB}{m^* c}$.

في السنوات الأخيرة يتم تعيين الكتلة الفعالة بشكل أعم من خلال قياس التركيبات البنائية بإستعمال تقنيات مثل الإنبعاث الفوتونى للزاوية المحللة (ARPES)، أو

مباشرة من تأثير ألفن دى هاس-فان. يمكن أيضاً تقدير الكتلة الفعالة يمكن بإستعمال المعامل γ للحد الخطي للحرارة النوعية للإلكترون عند حجم ثابت في درجة الحرارة المنخفضة، c_v. تعتمد الحرارة النوعية على الكتلة الفعالة من خلال كثافة الحالات عند مستوى فيرمى وهذا في حد ذاته يعتبر مقياس للإنحطاط بالإضافة إلى إنحناء نطاق الطاقة. إن التخمينات الكبيرة جدا لكتلة حامل الشحنة من قياسات السعة الحرارية أدت إلى تعميق مفهوم مفهوم المواد الفيرميونية الثقيلة. وحيث أن حركية الناقل تعتمد قابلية تعتمد على النسبة بين زمن عمر تصادم الناقل τ والكتلة الفعالة فإنه من حيث المبدأ يمكن تعيين الكتل قياسات الإنتقال، لكن هذه الطريقة ليست عملية لأن إحتمالات إصطدام الناقل ليست معروفة بداهة.

كما يتضح من الجدول السابق، للمركبات **III-V** المستندة على **GaAs** و **InSb** كتل فعالة أصغر بكثير منها لمواد المجموعة **IV** مثل السيليكون والجرمانيوم. في تصور درود البسيط للإنتقال الإلكتروني تتناسب أقصى سرعة يمكن الحصول عليها لناقلات الشحنة عكسياً مع الكتلة الفعالة: $\bar{v}=\|\mu\|.\bar{E}$ حيث $\|\mu\|=\dfrac{e\tau}{\|m^*\|}$ حيث e شحنة الإلكترون. تعتمد السرعة النهائية للدوائر التكاملية على سرعة الناقل، لذا فإن الكتلة الفعالة المنخفضة هي السبب الأساسي لإستخدام **GaAs** ومشتقاته بدلا من السيلكون تطبيقات سعة الإرسال العالية كما في حالة الهاتف الخلوي.

تأثير LP LP Effect

يستخدم تأثير **LP** في مجال فيزياء الحالة المكثفة. تم إكتشاف هذا التأثير عام **1962** في تجارب الإسطوانات الفارغة والمحاطة بجدار رقيق من مادة فائقة التوصيل موضوعة في مجال مغناطيسي موازى لمحورها.

تبين قياسات المقاومة الكهربية لتلك الإسطوانات وجود تذبذب دورى عند نفاذ الفيض المغناطيسي خلالها، و يعطى الزمن الدورى بالعلاقة، $h/2e=2.07e^{-15}\ \text{Tm}^2$. التفسير الذى قدمه كل من ليتل و باركز هو أن تذبذب المقاومة يعكس أكثر من مجرد ظاهرة أساسية، بمعنى أنه تذبذب دورى لدرجة الحرارة الحرجة للموصل الفائق (T_C).درجة الحرارة الحرجة هي درجة الحرارة التى تتحول عندها المادة من التوصيل المعتاد إلى التوصيل الفائق. إن تأثيرات **LP** تتضمن تذبذب دورى لدرجة الحرارة

الحرجة مع تغير الفيض المغناطيسي، والذى هو عباره عن حاصل ضرب المجال المغناطيسي (محورياً) ومساحة مقطع الإسطوانه. بشكل أساسى، تعتمد T_C على طاقة حركة الإلكترونات الفائقة التوصيل. بدقة أكثر، إن درجة الحرارة الحرجة هي تلك الدرجة التى عندها تتساوى الطاقات الحرة للإلكترونات المعتادة معها للإلكترونات الفائقة التوصيل، عند مجال مغناطيسي معين.

لفهم التذبذب الدورى لدرجة الحرارة الحرجة، T_C ، التى تؤسس تأثير **LP**، يجب فهم التذبذب الدورى الطاقة الحركية (**KE**). تتذبذب الطاقة الحركية لأن الفيض المغناطيسي المطبق يزيد طاقة الحركة بينما تعوض الدوامات الفائقة التوصيل المتكونة (التى تدخل الإسطوانة بشكل دورى) تأثير الفيض وتخفض طاقة الحركة. هكذا، فإن التذبذب الدوري للطاقة الحركية والتذبذب الدوري المرتبط لدرجة الحرارة الحرجة يحدثان معاً.

إن تأثير **LP** هو نتيجة لسلوك كمي جماعي للإلكترونات الفائقة التوصيل. يعكس هذا السلوك الحقيقة العامة بحدوث ما يشبه الفيض بدلا من الفيض الذي يكون مكماً في الموصلات الفائقة.

تأثير QMR لإستقطاب الضوء QMR effect

يشير الإختصار **QMR** إلى الدوران المغناطيسي من الدرجة الثانية لإستقطاب الضوء (**Quadratic Magnetic Rotation of Polarization of Light**). هذا الإستقطاب هو نوع من التأثير المغنيطوضوئي وتم إكتشافه في منتصف الثمانينات من القرن العشرين بواسطة فريق فيزيائى من أوكرانيا. على غرار تأثير فاراداي يبنى تأثير **QMR** على علاقات مؤسسة بين المجال المغناطيسي ودوران مستوى إستقطاب الضوء المستقطب خطياً.

على خلاف تأثير فاراداي فإن تأثير **QMR** ينص على تناسب من الدرجة الثانية بين زاوية دوران مستوى الإستقطاب وشدة المجال المغناطيسي. في الغالب يمكن ملاحظة تأثير **QMR** في الهندسة المستعرضة عندما يكون متجه شدة المجال المغناطيسي عمودي على إتجاه إنتشار الضوء. تم الحصول على الدليل الأول لتأثير **QMR** في بلورة فلوريد الكوبالت الضد حديدومغناطيسة في عام **1985**م.

إن إعتبارات تماثل الوسط تمنع الضوء ومتجه المحور للمجال المغناطيسي من حدوث التأثير QMR في الأوساط غير مغناطيسية أو غير المنتظمة مغناطيسيا. بينما نجحت علاقات أونساجير المعكوسة المعممة للأوساط المنتظمة مغناطيسياً في إزالة قيود التماثل في تأثير الـQMR في الأوساط تفقد مركز ضد الإنقلاب عند إجراء عملية تماثل عند إنتظام أنظامتها المغناطيسية الثانوية.

على الرغم من حقيقة أن بعض مجموعات بلورية التماثل تكون مجردة من مركز ضد العكس، فإنها لا تملك أيضا QMR بسبب فعل مؤثرات الثماثل الأخرى. هذه المجموعات عبارة عن إحدى عشرة مجموعة بدون مركز ضد العكس وهى 432, 43'm, m3m, 422, 4mm, 4'2m, 4/mmm, 622, 6mm, 6'm2 and 6/mmm. بالتالى، فإن تشكل بقية مجموعات التناظر البلوري التى تظهر QMR 27 صنف بلورى ضد حيدومغناطيسية و 31 صنف نارومغناطيسة (pyromagnetic). يوصف الـ QMR بمتتد-c (c-tensor) من الدرجة الرابعة يكون ضد-متماثل بالنسبة للدليلين الأولين. للمزيد من التفاصيل أنظر أيضاً تأثير فارادى والتأثير المغنيطوضوئى.

تأثير SZ   Sunyaev Zeldovic Effect

يشير الإختصار SZ لإسم العالمان رشيد صنييف و ياكوف زسإلدوفيتش مكتشفا هذا التأثير.

إن تأثير SZ هو نتيجة تشوه خلفية إشعاع المايكرويف الكوني (CMB) بواسطة الإلكترونات عالية الطاقة من عملية تبعثر كومبتون المعكوس، والذي فيه يتم إنتقال بعض من طاقة الإلكترونات إلى فوتونات إشعاع الخلفية المايكرويفي الكونى ذات الطاقات المنخفضة. تستخدم التشويهات الملاحظة في طيف خلفية المايكرويف الكوني في الكشف عن ورصد إضطرابات الكثافة في الكون. بإستخدام تأثير SZ تم ملاحظة عناقيد كثيفة من المجرات.

يمكن تقسيم تأثير SZ إلى الأنواع التالية: 1- تأثيرات حرارية، حيث تتفاعل فوتونات خلفية المايكرويف الكونى مع الإلكترونات ذات الطاقات العالية نتيجة درجة حرارتها، 2- تأثيرات حركية، حيث تتفاعل تتفاعل فوتونات خلفية المايكرويف الكونى مع الإلكترونات ذات الطاقات العالية نتيجة طاقة حركتها، و 3- إستقطاب.

تنبأ العالمان صنييف و زسإلدوفيتش بالتأثير في عام 1969، 1972 وفي 1980. يأتى

الإهتمام الرئيسى لهذا التأثير في مجال الكون والفيزياء الفلكية، حيث يساعد هذا التأثير في تعيين ثابت هابيل. للتمييز بين تأثير SZ نتيجة عناقيد المجرات و إضطرابات الكثافة المعتادة يتم إستخدام كل من الإعتماد الطيفي والإعتماد المكاني للتقلبات في خلفية المايكرويف الكونية. يتطلب تحليل بيانات CMB في التحليل الزاوي الأعلى الأخذ في الحسبان تأثير صنييف و زسإلدوفيتش.

تتركز الأبحاث الحالية على نمذجة كيفية توليد التأثير بواسطة بلازما داخل العنقود في الإزاحات الحمراء لعناقيد المجرات، في بإستخدام إستعمال التأثير لتقدير ثابت هابيل ولفصل المكونات المختلفة في الإحصائيات الزاوية المتوسطة للتقلبات في الخلفية.

يتم دراسة محاكاة لتشكيل التركيب الهيدرو-ديناميكى وذلك لإكتساب بيانات عن التأثيرات الحرارية والحركية في النظرية. تكون الملاحظات صعبة نتيجة السعة الصغيرة للتأثير ونتيجة التعارض مع الخطأ التجريبي والمصادر الأخرى من تقلبات درجة حرارة خلفية المايكرويف الكونية (CMB)

على أية حال، بما أن تأثير صنييف و زسإلدوفيتش هو تأثير تبعثر فإن مقداره لا يعتمد على الإزاحة الحمراء. إن هذا مهم جد لأكثر من سبب، الأول لأنه يعني أنه يمكن الكشف عن العناقيد الموجودة عن إزاحة حمراء كبيرة بسهولة أكبر من تلك الموجودة إزاحة حمراء منخفضة. السبب الآخر و الذي يسهل كشف العناقيد ذات الإزاحة الحمراء الكبيرة هو علاقة الإزاحة الحمراء مقابل التدريج الزاوى. إن هذه العلاقة تتغير تغير قليل بين الإزاحات الحمراء الواقعة في المدى بين 0.3 و 2، وهذا يعني أن العناقيد الموجودة بين هذه الإزحات الحمراء لها أحجام متماثلة في السماء.

فيما يلى نقدم عرض التسلسل الزمنى لملاحظات هذا التأثير. في عام ،**1983** كان الباحثون من مجموعة علم الفلك الإشعاعي بجامعة كامبردج ومرصد أوينز فالي الراديوى أول من إكتشفوا تأثير SZ من عناقيد المجرات. في عام **1993**، بدأ إستخدام منظار رايلى الملاحظات المنتظمة لهذا التأثير عناقيد المجرات. في عام **2003**، بدأ القمر الصناعي (WMAP) بتخطيط تأثير SZ لخلفية المايكرويف الكونية (CMB) على كل السماء بحساسية محدودة نوعاً ما. في عام **2005**، بدأ كل من مصور دقيقة القوس الميكروكلفنية و مصفوفة صنييف و زسإلدوفيتش بمسح عناقيد المجرات ذات الإزاحة الحمراء العالية جداً بإستخدام تأثير صنييف و زسإلدوفيتش. كما تم التخطيط بأن يبدأ تليسكوب أتاكاما الكونى عام 2006 بمسح تأثير صنييف و زسإلدوفيتش لعناقيد

المجرات، وكذلك بأن يبدأ تليسكوب القطب الجنوبى في عام 2007 بالبحث عن عناقيد المجرات بواسطة تأثير صنييف و زسإلدوفيتش. للمزيد من التفاصيل إرجع إلى كل من إشعاع الخلفية، تأثير كومبتون، وخلفية الإشعاع الكونى.

تأثير YORP YORP effect

تأتى تسمية هذا التأثير كإختصار عن الروسية (Yarkovsky - O'Keefe – Radzievskii -Paddack). بشكل مختصر يعتبر تأثير YORP تغير من الدرجة الثانية لتأثير ياركوفسكى والذى يسبب دوران (غزل) الجسم الصغير لأعلى أو لأسفل. لفهم هذا التأثير تخيل كويكب كروى دوار مربوط خط إستوائه بوتدين. سوف تكون قوة رد الفعل من ترك الفوتونات من إى عنصر سطحى معين عمودية على السطح. وفي هذه الحالة لا يتولد أى عزم دوران. لكن، يمكن أن تولد الطاقة المشعة من الوتدين عزم دوران لأن أوجه الوتد لا تكون موازية لسطح الكرة. لهذا، يمكن أن يتعرض الجسم الذى له بعض عدم التماثل "الطاحونة" لقوى عزم صغيرة تجعل الجسم يدور إلى أعلى أو إلى أسفل وكذلك يجعل محور دورانه يتحرك في مدار. يجب ملاحظة أن تأثير YORP يكون صفراً في في الجسم البيضاوى الدوار. في المدى البعيد، يحدث تغير ميل الجسم ومعدل الدوران بشكل عشوائى، فوضوى أو منتظم وهذا يعتمد على عدد كبير من العوامل. يكون تسارع الأجسام الأصغر حجما لأعلى أو لأسفل أسرع بكثير من الأجسام الأكبر.

تبين الملاحظات أن الكويكبات التى لها نصف قطر أكبر من 125 كم لها معدلات دوران تتبع توزيع تكرار ماكسويل، بينما تبين الكويكبات الأصغر (من 50 ألى 125 كم) زيادة صغيرة من الدوارات السريعة. تبين الكويكبات الأصغر (أقل من 50 كم) زيادة واضحة من الدوارات السريعة جداً والبطيئة، وهذا يصبح أكثر غلبة عند قياس عدد أصغر من الكويكبات.

تعتقد هذه النتائج أن آلية واحده أو أكثر من الآليات التى تعتمد على الحجم تكون آلية مخلية لتسكين مركز توزيع معدل الدوران، إلى حد كبير. بالرغم إن تأثير YORP هو الآلية الأساسية المرشحة، لكن لوحده لايكون قادراً بشكل ملحوظ على تعديل معدلات دوران الكويكبات الكبيرة ويحتاج الأمر إلى آلية مختلفة لتفسير سلوك الكويكبات الكبيرة مثل ماتيلد 253. للمزيد من التفاصيل إرجع إلى تأثير ياركوفسكى.

مسرد مرتب طبقاً لأبجدية الإنجليزية

3D audio effect	**68**
AB effect	**114**
Abney Effect	**5**
Accordion effect	**17**
Acoustoptic effec	**63**
Allais's Effect	**112**
Anomalous Zeeman effect	**172**
Askaryan effect	**9**
Audio effect	**185**
Auger effect	**121**
Autokinetic effect	**54**
Avalanche effect	**110**
Barkhausen Effect	**126**
Barnett effect	**128**
Bathochromic effect	**145**
Bernoulli effect	**130**
Bezold Effect	**140**
Black drop effect	**78**
Bridgman Effect	**130**
Butterfly Effect	**75**
Callendar Effect	**210**
Capillary Effect	**64**
Capture effect	**79**
Cascade effect	**29**
Casimir Effect	**205**
Catapult effect	**106**
Cerenkov effect	**226**
Chaos	**1**
Cheerios effect	**67**
Chernobyl disaster effect	**200**
Christofilos effect	**209**
Cliff effect	**107**
Coandă Effect	**210**
Compton Effect	**216**
Corbino effect	**212**
Corialis effect	**212**
Cotton effect	**212**
Damping effect	**16**
De Haas Shubnikov effect	**161**

Dellinger effect	162
Dember effect	162
Doppler effect	154
D-region effect	108
Duct effect	154
Early effect	125
Edison Effect	5
Effective action	268
Effective Atomic Number	266
Effective dose	263
Effective mass	272
Effective Radiated Power	270
Einstein effect	126
Electrocaloric effect	80
Electrokinetic effect	79
Electron Cloud Effect	61
Eotvos effect	117
Ettinghausen effect	5
Evershed effect	10
Faraday Effect	191
Floating body effect	50
Flywheel effect	54
Frame-dragging effect	179
Franz Keldysh effect	193
Free surface effect	61
Frey effect	194
Fujiwara effect	196
Gamma Effect	146
Garshelis Effect	146
Gibbs-Donnan effect	152
Glasser effect	147
Goos- Hanchen effect	150
Gravitational redshift	12
Greenhouse Effect	26
Ground effect	10
Haas Effect	242
Hall Effect	247
Hawking Effect	243
Hertz effect	252
Holtzman effect	252
Huchinson effect	242
Hypsochromic effect	142

Hysteresis effect	32
Imbert Fedorov effect	114
Inductive effect	51
Inert Pair Effect	60
Inverse Compton Effect	218
Inverse Doppler effect	156
Inverse Faraday effect	192
Inversion effect	17
Isotope effect	109
Jahn- Teller Effect	146
Josephson Effect	148
Joule heating	144
Joule Thompson effect	150
Kautsky effect	209
Kerr Effect	221
Kerr electrooptic effect	223
Kerr magneto optic effect	225
Kirkendall effect	225
Kondo Effect	219
Kozai effect	215
Larsen effect	230
Lazarus effect	230
Lazy battery effect	26
Leidenfrost Effect	231
Levitation effect	59
Light dragging effect	8
Liquid Sky Effect	62
Lotus effect	87
LP Effect	274
Magnetocaloric effect	95
Magneto-optical Effect	98
Magnetostrictive effect	31
Magnus Effect	233
Marangoni Effect	233
Material effect	88
Matteuci effect	233
McCollough effect	235
Meissner Effect	237
Meitner–Hupfeld effect	237
Memory effect	58
Miller Effect	239
Moiré effect	41

Mullins effect	236
Multipactor effect	24
Nernst Effect	240
Noise health effects	261
Nonthermal icrowave effect	108
Observer effect	93
Okorokov effect	125
Optical Kerr Effect	221
Overhauser effect	124
Paschen back effect	128
Pauli effect	129
Payne effect	130
Peltier effect	134
Penning effect	153
Petkau effect	139
Photoelasticity Effect	90
Photoelectric effect	82
Photorefractive Effect	21
Photothermal effect	71
Photovoltaic effect	72
Piezoelectric Effect	81
Piezoresistance effect	100
Pinch effect	185
Pockel's effect	136
Polarization effect	14
Proximity Effect	36
Pulfrich effect	138
Purkinje effect	135
Pyroelectric effect	84
QMR effect	275
Quantum Hall Effect	251
Quantum Zeno effect	173
Raman effect	163
Ramsauer -Townsend effect	168
Relativistic Doppler Effect	156
Sachs-Wolfe effect	174
Sagnac effect	174
Scharnhorst Effect	182
Schlieren effect	183
Schottky Effect	184
Screening (or Shielding) effect	53
Seebeck effect	181

Shapiro delay effect	140
Skin depth effect	189
Slingshot effect	103
Solar flares effect	48
Spin Hall effect	251
SQUID	263
Stack effect	143
Stark effect	178
Steric effect	29
Strobe Effect	70
Sunyaev Zeldovic Effect	276
Superparamagnetic effect	22
Thermal hall effect	250
Thermionic Emission Effect	17
Thermoelectric Effect	79
Thermomechanical effect	56
Thomson effect	187
Threshold effect	54
Transformer effect	89
Transverse Flow Effect	36
Triboelectric effect	39
Tunneling effect	43
Tyndall Effect	145
Umov effect	258
Unruh Effect	259
Vaporific Effect	25
Venturi effect	196
Villari effect	200
Voigt effect	198
Volta effect	197
Wiegand effect	253
Wiessenberg effect	255
Wigner effect	198
Exitation Effect	254
Wilson effect	255
Winslow effect	256
Wolf Effect	253
Woodward effect	252
Yarkovsky Effect	257
YORP effect	278
Zeeman Effect	169

تركت هذه الصفحة فارغة

بعض المراجع المفيدة

- **Bruce MacEvoy. Watercolors. Watercolors: the world's finest guide to watercolor painting. Retrieved on 2005-08-20, 2005.**
- **Dr. G. K. G. Prasad. Vision in a glass cockpit. Vision in a glass cockpit. Retrieved on 2005-08-20, 1999.**
- **HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI.**
- **R.W. Ditchburn, Light, (3rd ed.), Vol.2 (Academic Press, London, 1976) - light and the motion of particulate media .**
- **Kip Thorne, Black holes and timewarps: Einstein's outrageous legacy (Norton, NY, 1995) - frame-dragging around black holes .**
- **Einstein, Albert. "Relativity : the Special and General Theory." Project Gutenberg. <http://www.gutenberg.org/etext/5001.>**
- **Lord, C. G., Ross, L., & Lepper, M. R. (1979). Biased assimilation and attitude polarization: The effects of prior theories on subsequently considered evidence. Journal of Personality and Social Psychology.**
- **Moyal, J. E. The distribution of wars in time. Journal of the Royal Statistical Society, 1949, 112, 446-458.**
- **Southworth, R. W. Autocorrelation and spectral analysis. In A. Ralston and H. S. Wilf (Eds.) Mathematical methods for digital computers. New York: Wiley, 1960.**
- **SA Nobe, FY Wang - PROC IEEE INT CONF SYST MAN CYBERN, 2001 - ieeexplore.ieee.org.**
- **"Photoelectric effect". Physics 2000. University of Colorado, Boulder, Colorado.**
- **Fowler, Michael, "The Photoelectric Effect". Physics 252, University of Virginia.**
- **Kryder, M.H. (April 2005) "Magnetic recording beyond the superparamagnetic limit". Magnetics Conference, 2000. INTERMAG 2000 Digest of Technical Papers. 2000 IEEE International pp. 575-575.**
- **Fleagle, RG and Businger, JA: An introduction to atmospheric physics, 2nd edition, 1980**
- **Giacomelli, Gene A. and William J. Roberts1, Greenhouse Covering Systems, Rutgers University, downloaded from: http://ag.arizona.edu/ceac/research/archive/HortGlazing.pdf on 3-30-2005.**
- **The Science of Hysteresis (3-volume set), ed. by Isaak D. Mayergoyz, Giorgio Bertotti, Academic , 2005.**

- Griffiths, David J. (2004). Introduction to Quantum Mechanics (2nd ed.). Prentice Hall.
- Wu, Mei; Chen, Li; Li, Ti-Pei, "Polarization in Gamma-Ray Bursts Produced by Pinch Discharge" (2005) Chinese Journal of Astronomy & Astrophysics, Vol. 5, p. 57-64.
- William Hart Hayt, Engineering Electromagnetics Seventh Edition,(2006), McGraw Hill, New York.
- Rephaeli, Y. (1995). "Comptonization Of The Cosmic Microwave Background: The Sunyaev-Zeldovich Effect". Annual Review of Astronomy and Astrophysics 33: 541–580.
- Wolf, Emil, and James, Daniel F. V., "Correlation-induced spectral changes" (1996) Reports on Progress in Physics 59: 771—818.
- Paddack, Stephen J., Rotational bursting of small celestial bodies: Effects of radiation pressure, J. Geophys. Res., 74, 4379–4381 (1969).
- Forman, Paul (1970). "Alfred Landé and the anomalous Zeeman Effect, 1919-1921". Historical Studies in the Physical Sciences 2: 153—261.

- Griffiths, David J. (2004). Introduction to Quantum Mechanics (2nd ed.). Prentice Hall.

- Liboff, Richard L. (2002). Introductory Quantum Mechanics. Addison-Wesley.
- Maurice Allais, "The Allais Effect and my Experiments with the Paraconical Pendulum 1954-1960" (Report for NASA, 1999).
- Booske, J. H.; Cooper, R. F.; Dobson, I. Journal of Materials Research 1992, 7, 495-501 , Booske, J. H.; Cooper, R. F.; Freeman, S. A. Materials Research Innovations 1997, 1, 77-84
- فيزياء الحالة الصلبة، الجزء الأول، د. يسرى مصطفى، الدار الأكاديمية للطباعة والتأليف والترجمة والنشر، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس، 2007.
- قاموس مصطلحات الفيزياء المشروحة، الجزء الأول: الالكترونية، د.يسرى مصطفى، جامعة السابع من أبريل، الزاوية، 2008.
- فيزياء الحالة الصلبة وتطبيقاتها (المرجع الشامل) د. يسري مصطفي& د. احمد الغامدي، جامعة الملك عبد العزيز بجدة 1437هـ.

كتب للمؤلف

1. فيزياء الحالة الصلبة، الجزء الأول، تأليف/ د. يسرى مصطفى، الدار الأكاديمية للطباعة والتأليف والترجمة والنشر، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس، **2007**.
2. الأجهزة الالكترونية (الطبعة الثالثة، تأليف فلويد) ترجمة د. يسرى مصطفي & د. جمال الصغير الفردغ، جامعة السابع من أبريل، الزاوية، **2008**.
3. قاموس مصطلحات الفيزياء المشروحة، الجزء الأول: الالكترونية، تأليف/ د. يسرى مصطفى، جامعة السابع من أبريل، **2010**.
4. علم الصوتيات، تأليف ليو أل. بيرانيك، ترجمة/ د. يسرى مصطفي و د. محمد التوهامى، جامعة السابع من أبريل، 2012.
5. فيزياء الحالة الصلبة وتطبيقاتها (المرجع الشامل) د. يسري مصطفي& د. احمد الغامدي، جامعة الملك عبد العزيز بجدة **1437**هـ.
6. موسوعة الفيزياء والفلك ، تأليف/ د. يسرى مصطفى، ود.سعود حميد اللحياني، و د. عفاف معوض، دار النوارس للدعاية والنشر، الإسكندرية، **2016**.
7. الفيزياء العامة لغير المتخصصين وطلاب قسم التربية الخاصة ، تأليف/ د. يسرى مصطفى، ود.الحسيني الطاهر، و د. عفاف معوض، و د. دعاء محمود، دار النوارس للدعاية والنشر، الإسكندرية، **2016**.
8. الفيزياء العامة وتطبيقلتها في المجال الحيوي والطبي، تأليف/ د. يسرى مصطفى، ود.الحسيني الطاهر، و رمضان على، ود. وليد ألطف، دار النوارس للدعاية والنشر، الإسكندرية، **2016**.
9. موسوعة التأثيرات و الظواهر الفيزيائية وتطبيقاتها، تأليف/ د. يسرى مصطفى ، النوارس للدعايةوالنشر، الإسكندرية،**2017**، هذا الكتاب.

ممكن تطلب الكتب الخاصة بي

من دار النوارس للدعاية والنشر الإسكندرية، مصر

دار عبيد للنشر، طنطا مصر،

كنوز المعرفة جد، المملكة العربية السعودية

مكتيه الأسدية مكة، ومكتبة المكية مكة،

المملكة العربية السعودية